



Emmi Vesala

## **Hulevesien hallinnan monikäyttöiset alueet ja vuorovaikutus**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 8.4.2019

Valvoja: Professori Harri Koivusalo

Ohjaajat: DI Timo Nikulainen, TkT Nora Sillanpää,  
DI Harri Keinänen

---

**Tekijä** Emmi Vesala

---

**Työn nimi** Hulevesien hallinnan monikäyttöiset alueet ja vuorovaikutus

---

**Maisteriohjelma** Water and Environmental Engineering

**Koodi** ENG29

---

**Työn valvoja** Professori Harri Koivusalo

---

**Työn ohjaajat** DI Timo Nikulainen, TkT Nora Sillanpää, DI Harri Keinänen

---

**Päivämäärä** 8.4.2019

**Sivumäärä** 49+1

**Kieli** Suomi

---

### **Tiivistelmä**

Tiivistyvä kaupunkirakenne ja sateiden lisääntyminen ovat kasvattaneet tarvetta hulevesien kokonaisvaltaiseen hallintaan kaupunkialueilla. Vähenevän viheralan myötä viheralueisiin liittyy paljon toiminnallisia paineita hulevesien hallinnan lisäksi (esim. virkistystä, oleskelua ja kohtaamispaikkoja). Hulevesien hallinnalle omistettut alueet eivät ole kuitenkaan poissuljettuja muilta käyttötarkoituksilta, jos suunnittelussa huomioidaan myös alueiden monikäyttöisyys. Monikäyttöisillä alueilla saadaan hulevesien hallinnalle valjastetut alueet kaupunkilaisten aktiiviseen käyttöön, jolloin heille pystytään tarjoamaan useampia hyötyjä.

Tämän työn tavoitteena on tutkia hulevesien hallinnan alueiden monikäyttöisyyttä sekä vuorovaikutusta puistoympäristössä Vantaalla Manttaali- ja Rälssipuistojen suunnitteluprojektin kautta. Projektissa pyrittiin tuottamaan innovatiivisia ratkaisuja hulevesiin liittyen. Puistojen suunnittelun tavoitteena oli kehittää uuden sukupolven hulevesipuisto, jossa hulevesien määrällisen ja laadullisen hallinnan lisäksi tuotetaan hulevesitietoa sekä mahdollistetaan vuorovaikutus puiston ja eri käyttäjäryhmien välillä. Suunnitteluprojektissa kehitettiin monikäyttöisiä hulevesien hallinnan rakenteita, jotka kuivina kausina tukevat mm. virkistyksellisiä, sosiaalisia ja ekologisia toimintoja ja jotka rankkasateilla toimivat viivytyksaltaina.

Puiston suunnittelua tuki kaksivaiheinen hydrologinen mallinnus. Ensimmäisessä vaiheessa puistoon sen valuma-alueelta tulevien hulevesien virtaamat mallinnettiin EPA SWMM 5.1 -ohjelmalla. Ensimmäisen vaiheen tulokset toimivat lähtötietoina toisessa vaiheessa puistoalueen purouoman HEC-RAS-mallinnukselle, jonka avulla selvitettiin monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden täyttymistä erilaisissa mitoitussadetilanteissa. Työssä tutkittiin myös puistopuron vedenlaatua jatkuvatoimisten laatumittausten ja näytetulosten perusteella. Kerätyn määrällisen ja laadullisen tiedon pohjalta määritettiin keinoja, joilla voidaan viestiä puisto ympäristön tilasta. Vuorovaikutuksen keinona puistossa voidaan mm. hyödyntää purovedestä kerättyä reaaliaikaista tietoa älykkäässä valaistuksessa ja ympäristön seurantapalvelussa.

Monikäyttöisen puiston suunnittelussa tärkeää oli löytää synergioita toimintojen välille, jolloin toiminnot voidaan toteuttaa niin, että ne myös tukevat toisiaan. Monien toimintojen tuottaminen yhteen tilaan vaati suunnittelussa monialaista osaamista ja yhteistyötä eri tahojen kanssa. Tämä työ osoittaa, että monikäyttöisyys voi olla ratkaisu luonnonmukaisen hulevesisuunnittelun toteutumiseksi, kun julkiselle ulkotilalle kohdistuu paljon toiminnallisia paineita.

---

**Avainsanat** Hulevesien hallinta, monikäyttö, suunnittelu, vuorovaikutus, SWMM, HECRAS

---



---

**Author** Emmi Vesala

---

**Title of thesis** Multipurpose areas for stormwater management and social interaction

---

**Master programme** Water and Environmental Engineering **Code** ENG29

---

**Thesis supervisor** Professor Harri Koivusalo

---

**Thesis advisors** M.Sc. Timo Nikulainen, D.Sc. Nora Sillanpää, M. Sc. Harri Keinänen

---

**Date** 8.4.2019

**Number of pages** 49+1

**Language** Finnish

---

### **Abstract**

The densification of cities and increasing rainfall have increased the need for new stormwater management practices. Also, the decrease of green space in urban areas has increased the pressure of city parks to facilitate more functions in smaller areas (e.g. stormwater management, leisure, recreations and meeting places). The multipurpose areas for stormwater management have been seen as a solution, because in the same space multiple benefits and functions can be provided. The goal of the multipurpose areas is to get the areas, which would otherwise be reserved to only management purposes, into active use by citizens. During dry weather, the areas will support recreational, social and ecological functions and during wet weather, the areas are used as flood reservoir to level out flood peaks and as treatment sites to purify incoming waters.

The objective of this thesis was to investigate multipurpose stormwater structures and social interaction through the planning project of the Rälssi and Manttaali Parks in Vantaa. The aim of the project was to discover innovative solutions related to stormwater, which would be a part of a next-generation stormwater park. In addition to stormwater management, the goal was to generate stormwater related information and interaction between the parks and different user groups. In the planning project, multipurpose stormwater structures were designed.

Modelling was used in the project to assist in the planning process of managing stormwater quantity. The incoming discharges to the parks were determined with a rainfall-runoff model (SWMM) with different design rains. In addition, the Palo-oja stream was modelled with HEC-RAS-software in one dimension to determine the water levels in the park and in the multi-use areas. Also, the water quality of Palo-oja was studied based on results from continuous measurements and water quality samples. The gathered information on quantity and quality were used to assess different ways how the status of urban waters is communicated to the general public. As an interaction method, real-time data could be utilized for instance in the smart lighting of the parks and in a web-based monitoring platform.

In the planning process of multipurpose stormwater management areas, it is important to find synergies between functions, so that the delivered direct benefits and co-benefits result in a holistic system. This can be achieved with multidisciplinary planning. Based on the study multipurpose areas are seen as a solution, where there is a need for multiple functions in the same spatial area.

---

**Keywords** Stormwater management, multipurpose stormwater management areas, planning, social interaction, SWMM, HEC-RAS

---

## Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty osana Uudenmaan liiton Alueelliset innovaatiot ja kokeilut (AIKO) -rahoitteista ”Uudet hulevesien hallinnan Smart & Clean ratkaisut” -hanketta (S&C). Hankkeen tavoitteena oli muun muassa kehittää elinympäristöä kaupunkialueilla parantamalla terveellisyyttä, turvallisuutta ja viihtyvyyttä innovatiivisilla hulevesiratkaisuilla sekä markkinoida kaupunkien hulevesien hallinnan osaamista kansallisesti ja kansainvälisesti. Osatoteuttajina hankkeeseen osallistuivat Lahden, Vantaan, Espoon ja Helsingin kaupungit sekä yrityksiä, yliopistoja ja tutkimuslaitoksia.

Tämän työn tutkimuskohteet, Rälssi- ja Manttaalipuisto, toimivat Vantaan pilotointialueina S&C-hankkeessa. Vuonna 2017 Veromiehen kaakkoisosasta järjestettiin kansainvälinen arkkitehtuuri- ja ideakilpailu Urban Blocks, jonka voitti arkkitehtitoimisto Mandaworks Ab. Palkittujen suunnitelmien pohjalta Sitowise Oy teki Vantaan S&C-kohteiden yleissuunnitelmat 04/2018-01/2019 välisenä aikana konsulttiprojektina, jossa projektipäällikkönä toimi vesipalveluiden apulaisosastopäällikkö Timo Nikulainen ja apulaisprojektipäällikkönä maisema-arkkitehti Ismo Häkkinen. Geoteknisenä asiantuntijana toimi Essi Hartman, rakenneasiantuntijana Mirja Toivari-Holm ja vuorovaikutussuunnittelijana Tiina Ronkainen. Tilaajana Vantaan kaupungilta toimi Harri Keinänen Kuntatekniikan vesihuolto-osastolta. Suunnitteluun osallistuivat lisäksi Eija Välimäki (viheraluesuunnittelu), Merja Häsänen (asemakaavoitus), Tiina Riihimäki (tilakeskus) ja Janne Karppinen (geotekniikka).

Rälssi- ja Manttaalipuistojen osalta S&C-hankkeen tavoitteina oli vastata ilmastonmuutoksen tuomiin haasteisiin, luoda avointa tietoa ja hyödyntää IoT-ratkaisuja (*Internet of Things*), toteuttaa asukasvuorovaikutusta hulevesikohteiden luomisessa sekä kehittää koululaisten ympäristökasvatusta tarjoamalla tutkimuskohteita kouluille. Nämä tavoitteet otettiin huomioon puistojen konseptisuunnittelussa, jossa nostettiin hulevesien hallinta ja hulevesiin liittyvä vuorovaikutus monin tavoin keskeiseksi elementiksi.

Kiitos Vantaan kaupungille ja Sitowise Oy:lle tämän työn rahoittamisesta ja siitä, että sain olla mukana mielenkiintoisessa ja monialaisessa projektissa. Lisäksi haluan kiittää Maa- ja vesiteknikan tuki ry:tä (MVTT) apurahan myöntämisestä työn tekemiseen.

Olen kiitollinen kaikille ohjaajilleni DI Timo Nikulaiselle (Sitowise Oy), TkT Nora Sillanpäälle (Aalto-yliopisto) ja DI Harri Keinäselle (Vantaan kaupunki) sekä valvojalleni Harri Koivusalolle (Aalto-yliopisto) asiantuntevista neuvoista, kommenteista ja jaetusta tiedosta. Lisäksi haluan kiittää koko Sitowise Oy:n vesipalvelut-osaston työporukkaa antoisista keskusteluista sekä suunnittelutyöhön liittyvistä käytännön vinkeistä. Haluan kiittää myös Rälssi- ja Manttaalipuistojen suunnitteluprojektissa mukana olleita henkilöitä neuvoista, joita olen saanut liittyen konsultti- ja suunnittelutyöhön.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni ja isovanhempiani, jotka ovat kannustaneet ja tukeneet minua koko opintojeni ajan. Erityiskiitos kuuluu puolisololleni Samulille, joka aina uskoo minuun kaikissa haasteissa.

Espoo 8.4.2019

Emmi Vesala

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo .....	1
Kuvaluettelo .....	2
Taulukkoluetelo .....	3
1 Johdanto .....	4
1.1 Hulevesien hallintaan varattujen alueiden monikäyttöisyys .....	5
1.1.1 Pilottikohteet .....	7
1.2 Reaaliaikaisen tiedon hyödyntäminen .....	8
1.3 Tutkimuksen tavoitteet .....	9
2 Tutkimusaineisto ja menetelmät .....	10
2.1 Pilottikohde .....	10
2.1.1 Hulevesien hallinnan monikäyttöiset alueet .....	14
2.2 Automaattimittaukset .....	15
2.3 Näytteenotto ja laboratorioanalyysit .....	16
2.4 Tilastolliset testit näytetuloksille .....	17
2.5 Sadetapahtumat .....	17
2.6 Rälssi- ja Manttaalipuiston virtausmallinnus .....	18
2.6.1 Valuma-alueen rajausta ja maankäytön määrittäminen .....	18
2.6.2 Mallinnus Storm Water Management Model -ohjelmalla (SWMM) .....	19
2.6.3 Kalibrointi ja validointi PEST-ohjelmalla .....	20
2.7 Rälssi- ja Manttaalipuiston tulvamallinnus .....	21
3 Tulokset ja niiden tarkastelu .....	24
3.1 Hulevesien määrällisen hallinnan tulokset .....	24
3.1.1 Valuma-aluejako ja läpäisemättömän pinnan osuus .....	24
3.1.2 SWMM-mallin kalibrointi ja validointi .....	25
3.1.3 Valuma-aluehallinnuksen tulokset .....	28
3.1.4 Tulvamallinnuksen tulokset .....	29
3.1.5 Hulevesien viivyttäminen puistoissa .....	30
3.1.6 Mallinnuksen epävarmuustekijät .....	32
3.2 Hulevesien laadullisen hallinnan tulokset .....	32
3.2.1 Automaattimittaukset .....	32
3.2.2 Näytetulokset .....	34
3.2.3 Korrelaatiot mitattujen muuttujien välillä .....	35
3.3 Hulevesien hallintaan ja tietoon liittyvä vuorovaikutus .....	37
4 Johtopäätökset .....	39
Lähdeluettelo .....	41
Liitteet	

## Kuvaluettelo

Kuva 1. Monikäyttöisten hulevesien hallinta-alueiden suhtautuminen olemassa oleviin periaatteisiin (muokattu lähteistä Hansen et al., 2017; Suomen kuntaliitto, 2012; Fratini et al., 2012; kuvat lähteistä Veromiehen verkot-työryhmä, 2018; Sitowise Oy, 2019).	6
Kuva 2. Puistojen monikäyttöisyyden osa-alueita (muokattu lähteestä: National Recreation and Park Association, 2017).	7
Kuva 3. Rotterdamiin suunniteltu vesiaukio kuivana aikana (a), noin 30 kertaa vuodessa toistuvalla sateella (b) sekä kerran vuodessa toistuvalla sateella (c) (De Urbanisten, 2010).	7
Kuva 4. Benthems-aukion monikäyttöinen hulevesiallas (a) ja vesiseinä (b) (De Urbanisten, 2013).	8
Kuva 5. Tutkimuksen vaiheet ja niissä käytetyt työkalut.	10
Kuva 6. Palo-ojan valuma-alue ja hulevesiverkosto: osavaluma-alue A (A1-A6) 180 ha, B (B1-B2) 195 ha ja C1 10 ha.	11
Kuva 7. Rälssi- (a) ja Manttaalipuistojen (b) läpi kulkee Palo-oja.	12
Kuva 8. Rälssi- ja Manttaalipuiston nykytila (a) ja asemakaava (b) (Vantaan kaupunki, 2018a).	12
Kuva 9. Nykyinen (a) ja kaavarunon (b) mukainen maankäyttö valuma-alueella (Vantaan kaupunki, 2018b).	13
Kuva 10. Veromiehen viherverkko (Veromiehen verkot-työryhmä, 2018).	13
Kuva 11. Rälssi- ja Manttaalipuiston monikäyttöiset alueet: tulvaniitty, oleskeluportaat ja pelikenttä (muokattu lähteestä Sitowise Oy, 2019).	14
Kuva 12. Hulevesien hallinnan monikäyttöiset alueet: Rälssipuiston maisemallinen tulvaniitty (a), Manttaalipuiston hulevesiportaat (b), monikäyttöinen pelikenttä (c) (Sitowise Oy, 2019).	15
Kuva 13. Veden virtaaman ja laadun mittauspiste sijaitsee Manttaalipuiston päässä Manttaalikujan risteyksessä (a) ja mittausanturit asennettiin Manttaalikujan ali kulkevan rummun pohjaan (b) (LabkoNet, 2018; Labkotec, 2018).	15
Kuva 14. Purkautumiskäyrä, jossa huomioitiin vain ympyröillä merkityt arvot.	16
Kuva 15. Nykyisen (a) ja suunnitellun (b) puiston pintamallit.	22
Kuva 16. Nykyisen maankäytön (a) ja kaavarunon mukaisella maankäytöllä (b) lasketut läpäisemättömän pinta-alan osuudet osavaluma-alueittain.	24
Kuva 17. Kalibrointitapahtumat K1 (a), K2 (b) ja K3 (c).	26
Kuva 18. Validointitapahtumat V1 (a), V2 (b) ja V3 (c).	27
Kuva 19. Ylivirtaaman kehitys eri sadetapahtumien toistuvuuksilla. Täytetyt pisteet kuvaavat mallinnettuja virtaamia ja tyhjät pisteet arvioituja virtaamia. NQ ( <i>normal discharge</i> ) on mitattu uoman keskivirtaama 10 l/s.	28
Kuva 20. Rälssi- ja Manttaalipuiston nykyinen tulvatilanne. Vaalean sininen alue kuvaa kahden vuoden ja tumman sininen sadan vuoden mitoitussateen tulvatilannetta.	29
Kuva 21. Rälssi- ja Manttaalipuiston tulvatilanne rakennetussa tilassa kahden ja sadan vuoden mitoitussateilla.	29
Kuva 22. Monikäyttöisten alueiden tulvatilanteiden poikkileikkaukset, Rälssipuiston maisemallinen tulvaniitty (a), Manttaalipuiston hulevesiportaat (b), Manttaalipuiston monikäyttöinen pelikenttä (c).	30
Kuva 23. Virtaamat kahden vuoden (a) ja sadan vuoden (b) mitoitussateilla Manttaalipuiston nyky- ja suunnittelutilanteessa. Lisäksi kuvaajissa on esitetty nykyiseen puistoon tulevat virtaamat Rälssipuistossa ja Manttaalipuistossa Pytinojan risteyksen jälkeen.	31
Kuva 24. Sadanta (a), ilman ja veden lämpötila (b), sameus (c) ja sähkönjohtokyky (d) jatkuvatoimisten mittausten aikana 3.7-9.10.2018.	33
Kuva 25. Kiintoaineen ja sameuden (a), sinkin (b) sekä kokonaisfosforin (c) välinen yhteys. Kuvaajissa on myös esitetty lineaarinen selitysviiva ja sen selitysaste $R^2$ .	36
Kuva 26. Tiedon hyödyntämisen mahdollisuuksia Rälssi- ja Manttaalipuistossa (muokattu lähteestä Kahiluoto et al., 2018).	37

## Taulukkoluetelo

Taulukko 1. Automaattimittauksessa käytetyt laitteet ja niiden mittausalue (Labkotec, 2018).....	15
Taulukko 2. Näytteenoton ajankohdat.....	16
Taulukko 3. Laboratorioanalyysien menetelmät.....	17
Taulukko 4. Metallien määrittämisrajat ja mittaustarkkuus.....	17
Taulukko 5. Mitoitussateiden intensiteetit ja sademäärät.....	18
Taulukko 6. Kaavarungon mukaisen maankäytön pintatyyppejen osuudet ja TIA-% (Sitowise Oy, 2019b).....	19
Taulukko 7. Imeytymismallin parametrit.....	20
Taulukko 8. Mallinnuksessa käytetyt kalibrointitapahtumat (K1-K3) ja validointitapahtumat (V1-V3).....	20
Taulukko 9. HEC-RAS-mallin Manningin kertoimet nykyisessä ja suunnitellussa puistossa (U.S. Army of Corps of Engineers, 2016).....	22
Taulukko 10. SWMM-mallin parametrit.....	25
Taulukko 11. Kalibroidulla ja kalibroimattomalla mallilla simuloitujen ylivirtaamien vertailu mitattuihin virtaamiin (ylivirtaama m <sup>3</sup> /s/ero mittauksiin %), K1-K3 = kalibrointitapahtumat, V1-V3 = validointitapahtumat.....	26
Taulukko 12. Kalibrointi- ja validointitapahtumien hyvyysluvut.....	26
Taulukko 13. Kalibroidulla ja kalibroimattomalla mallilla lasketut valunnan määrät (valunnan määrä mm/valuntaprosentti), K1-K3 = kalibrointitapahtumat, V1-V3 = validointitapahtumat.....	27
Taulukko 14. Mallinnetut ylivirtaamat puistossa nykyisellä maankäytöllä.....	28
Taulukko 15. Mallinnetut ylivirtaamat puistossa kaavarunkoon perustuvalla maankäytöllä.....	28
Taulukko 16. Nykyisten ja suunniteltujen puistojen tulvatilavuudet sekä pinta-alat.....	30
Taulukko 17. Laatu näytteiden tulokset sekä hulevesien laadulliset ja biologisen haitan raja-arvot. Tulokset, jotka ylittävät hulevesien laadun raja-arvon, on tummennettu.....	34
Taulukko 18. Korrelaatioanalyysin tulokset kiintoaineen, sameuden ja sähkönjohtavuuden suhteen.....	35

# 1 Johdanto

Kaupungistuminen kasvattaa läpäisemätöntä pinta-alaa, joka muuttaa hydrologista kiertoa lisäämällä muun muassa hulevesien muodostumista ja kasvattamalla maksimivirtaamia hulevesiverkostossa (Burns et al., 2012; Sillanpää & Koivusalo, 2015). Kaupunkipurojen putkittaminen ja ohjaaminen viemäriverkostoon, kaupunkirakenteen jatkuva tiivistyminen ja viheralan vähentyminen muuttavat myös veden kiertokulkua. Vesien nopea poisjohtaminen ja läpäisemätön pinta yhdistettynä ilmastomuutoksen tuomiin rankempiin sateisiin johtavat tulvariskien kasvuun kaupunkialueilla. Myös muuttuva maankäyttö heikentää hulevesien laatua (Borris et al., 2013). Valunta maankäytöltään kehittyviltä alueilta ja läpäisemättömiltä pinnoilta lisäävät hulevesien haitta-aineiden määrää, jotka heikentävät vastaanottavan vesistön laatua (Paule-Mercado et al., 2018).

Hulevesiin liittyvien negatiivisten vaikutusten torjumiseksi on yhä enemmän alettu käyttämään luonnonmukaisen ja vihreän infrastruktuurin periaatteita hulevesien hallinnassa (Keeley et al., 2013). Ideana näissä periaatteissa on, että hulevesien rakenteilla pystytään edesauttamaan veden luonnollista kiertoa, jolloin voidaan vähentää hulevesien aiheuttamia tulva- ja ympäristöhaittoja (Suomen kuntaliitto, 2012; Eckart et al., 2017). Monet kaupungit Suomessa ovat ottaneet hulevesistrategioissaan tavoitteekseen toteuttaa hulevesien hallintaa kokonaisvaltaisesti kestäväällä tavalla (Vantaan kaupunki, 2009a; Espoon kaupunki, 2011; Lahden kaupunki, 2010). Strategioissa tavoitteena on ensinnäkin vähentää valunnan syntymistä ja hallita hulevedet niiden syntypaikalla. Kuitenkaan aina hulevesien hallinta ei ole mahdollista niiden syntypaikalla, jolloin hulevedet tai hulevesirakenteiden ylivuodot tulisi johtaa julkiselle viheralueelle. Viheralueilla voidaan vähentää huleveden määrää, pienentää virtaamapiikkejä ja parantaa hulevesien laatua viivyttämällä, imeyttämällä ja käsittelemällä.

Vähenevän viheralan myötä viheralueisiin liittyy paljon toiminnallisia paineita hulevesien hallinnan lisäksi (Haaland & Konijnendijk van den Bosch, 2015). Hulevesien luonnonmukainen hallinta on koettu vaikeaksi toteuttaa tai hallintaa ei olla suunnitteluvaiheessa priorisoitu, sillä se vie paljon tilaa viheralueilta (Schuch et al., 2017). Usein julkisten viheralueiden virkistyselliset ja ekologiset tavoitteet ovat ajaneet hulevesiin kohdistuvien tavoitteiden edelle. Toisaalta, jos viheralueiden suunnittelussa huomioidaan hulevesien hallintaan varattujen alueiden monikäyttöisyys, niille omistetut alueet eivät ole poissuljettuja muilta käyttötarkoituksilta (Meerow & Newell, 2017). Monikäyttöisillä hulevesien hallinnan ratkaisuilla pystytään samassa tilassa tuottamaan useampia hyötyjä (ympäristöllisiä, sosiaalisia tai taloudellisia) ja toimintoja (esim. ekosysteemipalvelut) (Demuzere et al., 2014). Näihin hulevesien hallinta-alueisiin lukeutuvat niin luonnonmukaiset hulevesiratkaisut, kuten viivytyksaltaat ja hulevesikosteikot, kuin myös uudet innovatiiviset insinööriratkaisut, kuten rakennetut pelikentät, joissa vettä voidaan viivyttää.

Hulevesien hallinnan monikäyttöisillä ratkaisuilla vesi tulee elementtinä osaksi kaupunkirakennetta ja -maisemaa. Kun hulevesien hallintaa ja kaupunkipuroja tuodaan esille, voidaan herättää mielenkiintoa ja lisätä kaupunkilaisten tietoisuutta hulevesistä (Woods-Ballard et al., 2015; Echols & Pennypacker, 2008). Hyvällä suunnittelulla kaupunkipurot ja hulevesirakenteet lisäävät alueen viihtyvyyttä ja tukevat positiivista mielikuvaa hulevesistä (Backhaus & Fryd, 2013).



## 1.1 Hulevesien hallintaan varattujen alueiden monikäyttöisyys

Vihreän infrastruktuurin strategioissa on nostettu esiin monitoiminnallisuus (*multifunctional green infrastructure*) (Euroopan ympäristökeskus, 2011), sillä sen avulla pystytään tarjoamaan useampia toimintoja ja hyötyjä samalla alueella. Nämä toiminnot voivat olla ympäristöä, sosiaalisuutta tai taloutta tukevia, joiden avulla pyritään parantaa elämänlaatua kaupungeissa (Euroopan Komissio, 2012). Vihreällä infrastruktuurilla tarkoitetaan strategisesti suunniteltua sinivihreää verkostoa, jolla voidaan tuottaa useampia hyötyjä ja ekosysteemipalveluita (COM(2013)249(FI), 2013). Ekosysteemipalveluiden käsite on kehitetty kasvattamaan tietoisuutta ekosysteemin tuottamista sekä aineellisista että aineettomista hyödyistä, koska joitakin palveluita on vaikea tunnistaa ennen kuin ne tuottavat ongelmia, kuten tulvia (Burns et al., 2012; Cameron & Blanuša, 2016).

Hulevesien hallinta on tunnistettu tärkeäksi osaksi monitoiminnallista vihreää infrastruktuuria (Demuzere et al., 2014; Meerow & Newell, 2017; Hansen et al., 2019) esimerkiksi tulvien ehkäisemisessä (Lennon et al., 2014), ekologisten käytävien tukemisessa (Landscape Institute, 2013), huuhtoutuvien haitta-aineiden puhdistamisessa (Lovell & Johnston, 2009), kaupunkien sietokyvyn parantamisessa (EPA, 2015) ja lämpömukavuuden parantamisessa (Coutts et al., 2013). Myös luonnonmukaisia hulevesien viivytysaltaita, rakennettuja kosteikkoja ja painanteita on yleisesti käytetty parantamaan hulevesien laatua (Eskola, 2010; Nicholas et al., 2016; Adyel et al., 2017), tukemaan elinympäristöjä (Mackintosh et al., 2015; Holtmann et al., 2018) ja biodiversiteettiä (Hassal & Anderson, 2015), pienentämään tulvahuippuja sekä samalla parantamaan rakennetun ympäristön viihtyvyyttä (Ahern, 2007). Yleisesti käytettynä esimerkkinä hulevesien hallinnan monitoiminnallisuudesta vihreän infrastruktuurin kontekstissa ovat viherkatot, jotka vähentävät hulevesien laadullista ja määrällistä kuormaa, parantavat mikroilmastoa ja tarjoavat elinympäristöjä eri lajeille (Mesimäki et al., 2015). Kirjallisuudessa nostetaan usein esiin vaihtoehtoiset hulevesien hallinnan menetelmät niiden monitoiminnallisten piirteiden vuoksi, kuten paras hallintakäytäntö (*Best Management Practice*), LID-ratkaisut (*Low Impact Development*) ja luonnonmukainen hulevesien hallinta (*Sustainable Drainage System*) (Fletcher et al., 2015).

Yleisimmin kirjallisuudessa käytetään monitoiminnallisuuden käsitettä osana vihreää infrastruktuuria, kun kuvataan laajempaa lähestymistapaa kaupunkisuunnitteluun (Ahern, 2007; Pauliet et al., 2011; Madureira & Andresen, 2014). Viheralueista, joissa yhdistyy useita eri käyttötarkoituksia, on käytetty kirjallisuudessa erilaisia käsitteitä, kuten monitoiminnallinen puisto (Vierikko & Niemelä, 2016), urbaanin viheralueen monitoiminnallinen käyttö (*Multifunctional use of greenspace*) (Van Leeuwen et al., 2010) ja monitoiminnallinen tila (*Multifunctional space*) (Waldhoff et al., 2012). Yleisesti puhutaan myös viheralueiden monitoiminnallisuudesta, johon liitetään niiden tuottamat moninaiset hyödyt (Van Leeuwen et al., 2010) ja ekosysteemipalvelut (Lovell & Taylor, 2013).

Edellä esitetyn kirjallisuuden perusteella hulevesien hallinnalle varatut alueet tukevat yleisimmin vain ympäristöllisiä ja ekologisia toimintoja kaupunkialueella. Tällöin hulevesien hallinnan alueiden vuorovaikutteisuutta tai ihmisten toimintoja tukevaa näkökulmaa ei ole huomioitu. Vakiintumattoman termistön vuoksi tässä työssä käytetään alueista, joissa yhdistyy hulevesien hallinnan lisäksi muita toimintoja, nimitystä

monikäyttöinen alue. Tällä halutaan korostaa ihmisten kytkeytyneisyyttä alueisiin ja alueiden aktiivista käyttöä.

Kuten vihreän infrastruktuurin monitoiminnallisuudella myös hulevesien hallinnan monikäyttöisyydellä pyritään tarjoamaan useampia hyötyjä (ympäristöllisiä, sosiaalisia tai taloudellisia) ja toimintoja (esim. ekosysteemipalvelut) (Demuzere et al., 2014). Monikäyttöisyyden tavoitteena on saada hulevesien hallinnalle valjastetut alueet kaupunkilaisten aktiiviseen käyttöön, sillä suurimman osan ajasta alueet eivät ole veden peittäminä. Monikäyttöisillä hulevesien hallinnan alueilla on kuivina kausina muuan muassa virkistysellisiä ja sosiaalisia toimintoja ja rankkasateilla ne toimivat tulvatilavuutena. Tällöin alueet tukevat myös hulevesien luonnonmukaista hallintaa pyrkien viivyttämään hulevesiä ja tasaamaan tulvahuippuja. Kuvan 1 periaatekaavio osoittaa, miten monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueet tukevat sekä vihreän infrastruktuurin että luonnonmukaisen hulevesien hallinnan periaatteita.



**Kuva 1. Monikäyttöisten hulevesien hallinta-alueiden suhtautuminen olemassa oleviin periaatteisiin (muokattu lähteistä Hansen et al., 2017; Suomen kuntaliitto, 2012; Fratini et al., 2012; kuvat lähteistä Veromiehen verkot-työryhmä, 2018; Sitowise Oy, 2019).**

Määrällisen hulevesien hallinnan lisäksi viheralueisiin kohdistuu paineita parantaa kaupunkivesien laatua, joka on yleensä heikentynyt kasvaneen läpäisemättömän pinta-alan ja muuttuvan maankäytön vuoksi (Kuusisto-Hjort, 2009). Hulevesien laadullisella hallinnalla pyritään sekä parantamaan ympäristön tilaa ja turvallisuutta (Barbarosa et al., 2012) että luomaan parempaa kaupunkikuvaa ja kasvattamaan alueen virkistysellistä arvoa, kun vesistöjen esteettisyyttä parannetaan (Backhaus & Fryd, 2013). Jotta kaupunkivesiä voidaan yhä useammassa tapauksessa käsitellä luonnonmukaisella ja avoimella tavalla, monikäyttöisiä hulevesien hallintaratkaisuja tulisi hyödyntää.

Hulevesien keräämistä hyötykäyttöön (*stormwater harvesting*) voidaan pitää myös monikäyttöisenä hulevesien hallinnan ratkaisuna, sillä siihen useimmiten liittyy hyötyjä myös ihmisille. Esimerkiksi sadevesiä on perinteisesti kerätty tynnyreihin, joista vettä voidaan hyödyntää kasteluvetenä (Kuntaliitto, 2012). Isommassa mittakaavassa hulevesiä voidaan kerätä maanalaisiin säiliöihin ja hyödyntää esimerkiksi puistojen vesiaiheissa (Page et al., 2013). Hulevesien hyödyntämisellä vältytään puhtaan juomaveden käytöltä, mikä muun muassa vähentää hulevesiverkoston kuormitusta ja tulvariskiä (Mitchell et al., 2007) sekä ylläpitää veden imeyntää maaperään.

Monikäyttöisten alueiden suunnitteluvaiheessa on hyvä tunnistaa, mitä palveluita ja toimintoja hulevesien hallinnan alueet voisivat tuottaa. Hyötyjen luokittelu voi kuitenkin olla vaikeaa niiden eri suuruusluokkien sekä keskinäisten vuorovaikutussuhteiden vuoksi (Demuzere et al., 2014). Puistot luovat hyvät lähtökohdat monikäyttöisyydelle, sillä niissä yhdistyy usein monia toimintoja. Kuitenkin hulevesien hallinnan alueiden monikäyttöisyyden toteutumisessa on haasteita, sillä siihen vaaditaan monialaista suunnittelua koko suunnittelun aikana (Waldhoff et al., 2012) ja yhteistyötä eri tahojen kanssa (National Recreation and Park Association, 2017). Kuvassa 2 on esitetty osa-alueita, joita voidaan yhdistää hulevesien hallinnan alueisiin.



**Kuva 2. Puistojen monikäyttöisyyden osa-alueita (muokattu lähteestä: National Recreation and Park Association, 2017).**

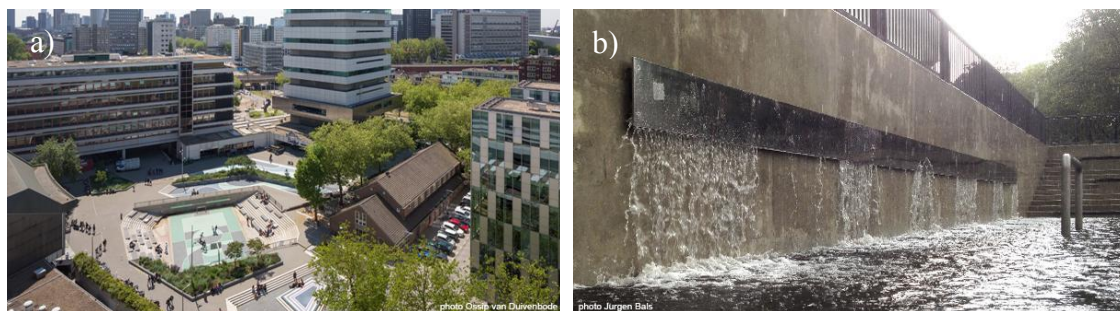
### 1.1.1 Pilottikohteet

De Urbanisten (2010) on suunnitellut Rotterdamiin monikäyttöisiä vesiaukioita (*Water squares*) lisätäkseen hulevesien varastotilaa kaupunkialueella. Kuivina aikoina aukio toimii virkistyskäytössä lasten leikkipaikkana, pienenpien sateiden aikaan aukion syvimmat kohdat täyttyvät vedellä ja muodostavat erilaisen leikkiympäristön sekä rankkasateilla koko alue voidaan hyödyntää hulevesien pidätysaltaana (Kuva 3). Kun rakenteessa on vettä vähän, vesi pumpataan hulevesiverkostoon, mutta veden pinnan noustessa vettä kierrätetään puhdistussuodattimien kautta takaisin altaaseen ja päästetään verkostoon vasta sateen loputtua suuremman putken kautta.



**Kuva 3. Rotterdamiin suunniteltu vesiaukio kuivana aikana (a), noin 30 kertaa vuodessa toistuvalla sateella (b) sekä kerran vuodessa toistuvalla sateella (c) (De Urbanisten, 2010).**

Vuonna 2013 Rotterdamiin valmistui ensimmäinen monikäyttöinen vesiaukio, Benthems. Aukio koostuu kahdesta pinnoitetusta hulevesialtaasta, joita käytetään kuivana aikana virkistyskäytössä koripallo- ja rullalautailukenttänä (Kuva 4a) (De Urbanisten, 2013). Aukio on toteutettu monitasoisena, jolloin pienemmän sateen aikana vain matalampi allas täyttyy, mutta rankemman sateen aikana vettä ohjataan myös kouruja pitkin syvemmälle kentälle. Veden ohjaamiseen tarkoitetut kourut ovat kuivalla säällä sopivia esimerkiksi rullalautailuun. Yhteensä altaiden varastointitilavuus on 1 700 m<sup>3</sup>. Aukion kortteleiden vesi ohjataan vesiseinään, josta vesi valuu satavan veden määrän mukaan (Kuva 4b). Sateen jälkeen aukion matalimmista altaista vesi imeytetään maaperään, minkä tavoitteena on parantaa pohjavesien tilaa.



Kuva 4. Benthems-aukion monikäyttöinen hulevesiallas (a) ja vesiseinä (b) (De Urbanisten, 2013).

Toinen esimerkki monikäyttöisestä hulevesien hallintaratkaisusta on pilottikohde Hampurissa. Monikäyttöisyyden innoittamana tulvaherkkää ajotie saatiin muutettua turvallisemmaksi johtamalla vedet tieltä läheiseen puistoon (Waldhoff et al., 2012). Kuivalla säällä viheraluetta voidaan käyttää esimerkiksi pelaamiseen ja rankkasateella se toimii vettä pidättävänä sekä imeyttävänä rakenteena.

Monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden on osoitettu myös tukevan hydrologisten prosessien demonstroimista ja hulevesien laadun parantamisen tarpeita. Esimerkiksi Tanskassa on rakennettu puisto, jonka alle on sijoitettu säiliö, jonne lähikortteleilta johdetaan hulevedet suodattavan rakenteen läpi (GHB Landskabsarkitekter, 2014). Puistossa puhdistettua hulevettä hyödynnetään leikkivälineessä, josta lapset voivat pumpata vettä ja havainnoida, miten vesi valuu alempana olevalle kasvillisuuden peittämälle imeytysalueelle.

Viime vuosina Suomessakin on hulevesien hallinnan suunnittelussa alettu kiinnittämään huomiota alueiden monikäyttöisyyden mahdollisuuksiin. Esimerkiksi Jyväskylän Puistotorin vihersuunnitelman keskeisenä osana on vihreä laguuni, joka toimii oleskelualueen lisäksi hulevesien varastointi- ja viivytysaltaana (Laitinen, 2017).

## 1.2 Reaaliaikaisen tiedon hyödyntäminen

Automaattisia ja jatkuvatoimisia mittareita on käytetty jo pitkään hule- ja jätevesiverkostojen hallinnassa. Reaaliaikaista hallintaa (*Real Time Control, RTC*) on hyödynnetty esimerkiksi verkostojen ylivuotojen ehkäisemisessä (Cheung et al., 2005), hulevesialtaiden vedenlaadun parantamisessa ja tulvahuippujen tasaamisessa (Muschalla et al., 2014). Uudempana tiedon hyödyntämisen keinona on niin sanottu reaaliaikainen mittaus ja mukautuva hulevesien hallinta (*Continuous Monitoring and Adaptive Control, CMAC*), jossa useammasta rakenteesta koostuvaa hulevesijärjestelmää hallitaan kokonaisvaltaisesti nettipohjaisen seuranta-alustan kautta (Lefkowitz et al., 2016). Näitä hulevesijärjestelmiä, joissa hyödynnetään paikan päällä mitattua tietoa yhdistettynä

muuhun ympäristötietoon esineiden internetin (*Internet of Things, IoT*) avulla, kutsutaan älykkäiksi hulevesien hallinnan ratkaisuksi (Wright & Marchese, 2018).

Kirjallisuuden perusteella hulevesistä kerättyä reaaliaikaista tietoa on hyödynnetty tähän mennessä suurimmaksi osaksi hulevesirakenteiden ohjaamisessa ja tehokkuuden parantamisessa (esim. Roman et al., 2017). Kuitenkin viime aikoina kiinnostus ympäristön tilasta ja ilmastonmuutoksesta on kasvanut, mikä on lisännyt painetta tuottaa kansalaisille alustoja ympäristön seuraamiselle (esim. Harju & Korhonen, 2018). Suomessa ympäristötietoa tuottaa pääasiassa valtionhallinto, johon kuuluvat ELY-keskukset, maakuntaliitot ja Suomen ympäristökeskus (Suomen ympäristökeskus, 2018a). Tietoa on paljon saatavilla avoimesti, mutta sen löytäminen tai ymmärrettävyys voi olla hankalaa asiantuntijoille suunnatuilla sivustoilla (Anttila & Pyhälähti, 2018).

Ympäristötiedon hyödyntämisen mahdollisuuksiin erilaisten palveluiden muodossa on strategisesti kiinnitetty huomiota viime aikoina. Esimerkiksi Vesimittari-palvelusta voi lähes reaaliajassa seurata Lounais-Suomen jokien vedenlaatua (ELY-keskus, 2018) ja Suomen ympäristökeskuksen, Ilmatieteen laitoksen ja Tulvakeskuksen yhteistyössä kehitetty Vesi.fi -karttapalveluun (2019) on kerätty kattavasti vesiin liittyvä tietoa. Kuitenkaan tietoa ei ole juurikaan saatavilla kaupunkiympäristön vesiverkostosta, joka koostuu suurelta osin hulevesiä vastaanottavista puroista ja ojista.

### **1.3 Tutkimuksen tavoitteet**

Suomessa ja muualla maailmassa on siirrytty yhä enemmän kokonaisvaltaiseen hulevesien hallintaan. Useita eri hallintamenetelmiä on kehitetty muuan muassa hulevesien vähentämiseen, viivyttämiseen, johtamiseen ja käsittelyyn, jotka keskittyvät määrälliseen ja laadulliseen hallintaan. Tiivistyvän kaupunkirakenteen ja viheralan pienentyessä hulevesien hallinnan alueilla tulisi huomioida muitakin tavoitteita, kuten sosiaalisia, opetuksellisia, vuorovaikutteisia ja virkistysellisiä tavoitteita.

Tämän työn tarkoituksena on tutkia hulevesien hallinnan alueiden monikäyttöisyyttä sekä vuorovaikutuksen mahdollisuuksia puistoympäristössä Vantaan Rälssi- ja Manttaalipuistojen suunnitteluprojektin kautta. Puistojen suunnittelun tavoitteena on kehittää uuden sukupolven hulevesipuisto, jossa hulevesien määrällisen ja laadullisen hallinnan lisäksi kerätään reaaliaikaista hulevesitietoa. Tietoa hyödynnetään puistossa eri keinoin ja samalla mahdollistetaan vuorovaikutusta puiston ja sen käyttäjien välillä.

Tutkimuksen yksityiskohtaisina tavoitteina on:

- 1) havainnollistaa pilottikohteen monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden vedenpinnan vaihteluita tulvamallinnuksella, jonka lähtötiedoiksi kalibroidaan ja validoidaan virtaamamalli hyödyntäen jatkuvatoimista mittaustietoa
- 2) tarkastella veden laadullisen hallinnan tarpeita pilottikohteessa arvioimalla puron vedenlaatua kirjallisuuden raja-arvojen perusteella
- 3) esittää eri keinoja viestiä hulevesistä puistoympäristössä hyödyntäen kerättyä reaaliaikaista määrällistä ja laadullista mittaustietoa.

## 2 Tutkimusaineisto ja menetelmät

Tutkimuksen etenemisprosessin osa-alueiden tarkoitukset, menetelmät ja aineisto on esitetty kuvassa 5. Tutkimuksen aluksi selvitettiin monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden täyttymistä erilaisissa mitoitusadetilanteissa, mikä toteutettiin kaksivaiheisen hydrologisen mallinnuksen avulla. Tähän hulevesien määrällisen hallinnan tutkimukseen kytkettiin tieto hulevesien laadusta, laatutietojen korrelaatiot sekä niiden tilastollinen analysointi. Lopuksi pohdittiin, millä tavoin puistoympäristössä voidaan viestiä kaupunkivesistä ja niiden tilasta purovedestä kerätyn määrällisen sekä laadullisen tiedon avulla.

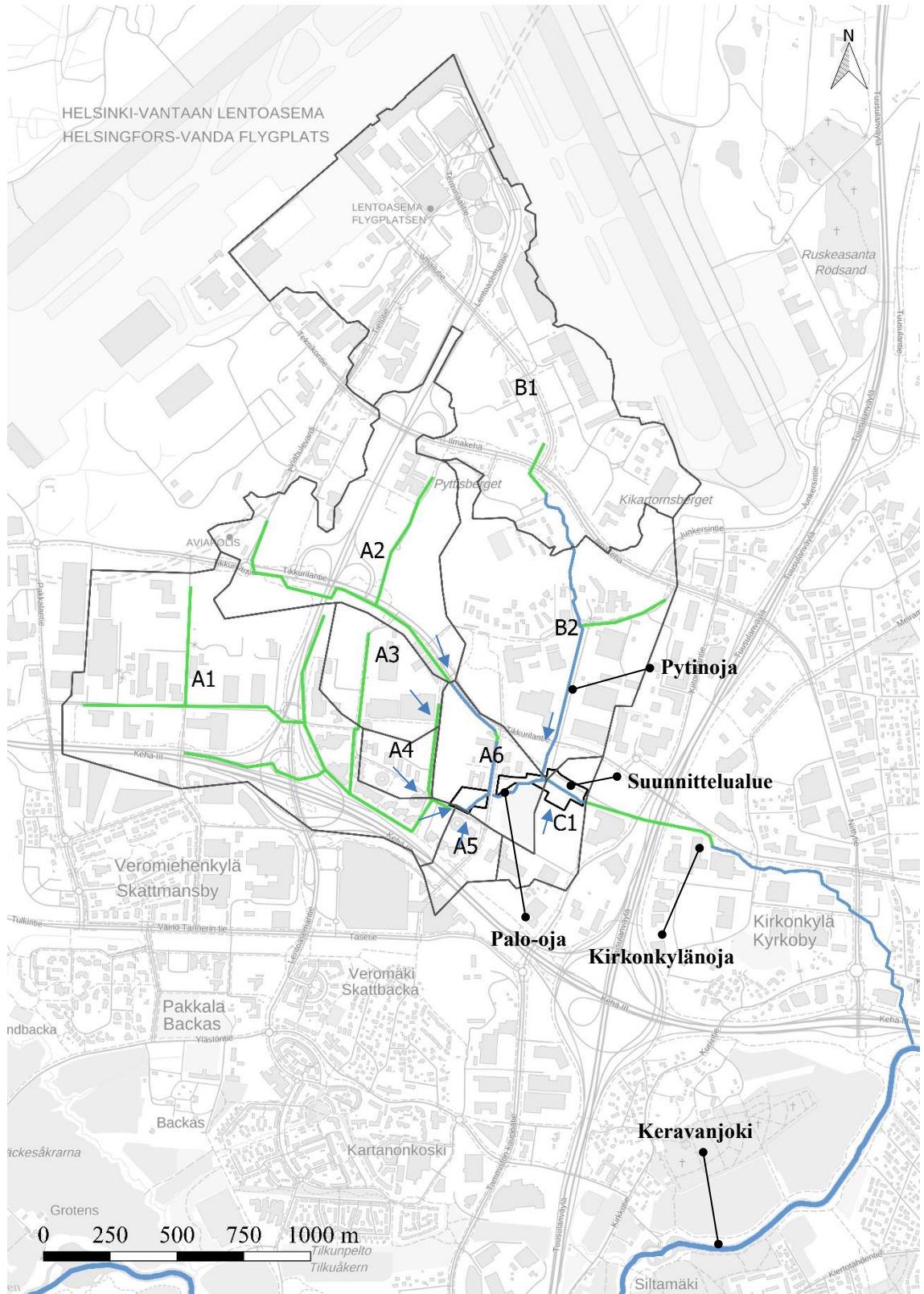


Kuva 5. Tutkimuksen vaiheet ja niissä käytetyt työkalut.

### 2.1 Pilottikohde

Tutkimuskohde Rälssi- ja Manttaalipuistojen alue sijaitsee Keski-Vantaalla Veromiehen kaupunginosassa kaupunkirakenteellisesti ja hulevesien hallinnan kannalta keskeisellä paikalla (Kuva 6). Puistojen läpi virtaa Palo-oja, johon Rälssipuiston kohdalla purkaa hulevesiä lännestä Kehä III suunnasta (Kuvassa 6; A1, A3, A4, A5) ja Manttaalipuiston kohdalla pohjoisesta Helsinki-Vantaan lentokenttäalueelta (B1-B2). Nämä kaksi virtausreittiä muodostavat yhdessä A2, A6 ja C1 -osavaluma-alueiden kanssa Palo-ojan valuma-alueen, joka on pinta-alaltaan noin 385 ha. Palo-oja laskee Keravanjokeen Helsingin pitäjän kirkonkylässä.





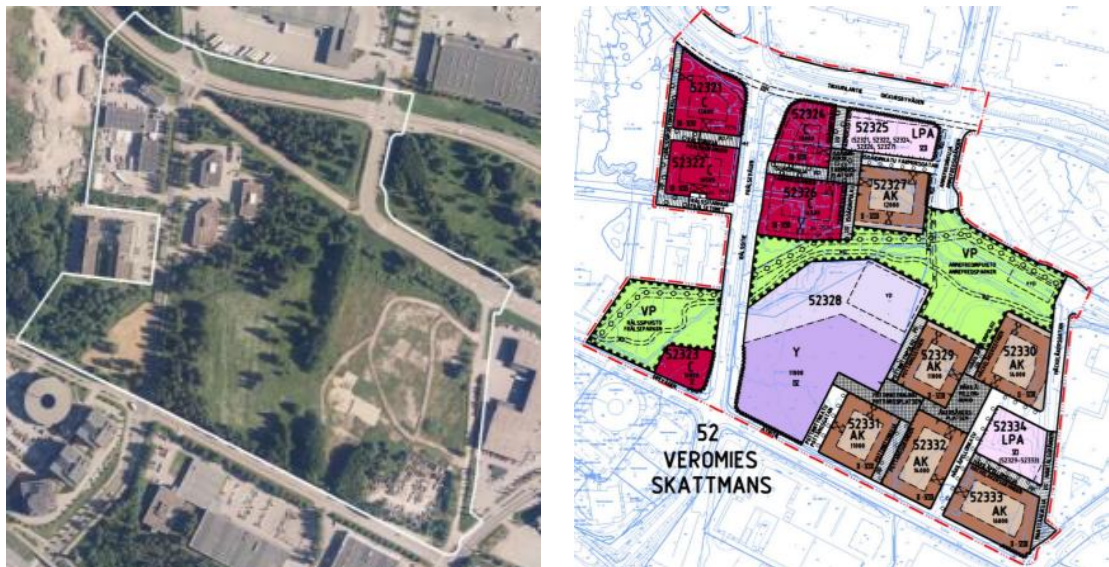
**Kuva 6. Palo-ojan valuma-alue ja hulevesiverkosto: osavaluma-alue A (A1-A6) 180 ha, B (B1-B2) 195 ha ja C1 10 ha.**



Rälssi- ja Manttaalipuistot ovat tasaista niittyä, jossa Palo-oja virtaa puistojen läpi noin kaksi metriä syvässä uomassa (Kuva 7). Puistot eivät ole nykyisin käytössä toiminnallisiin tarkoituksiin. Asemakaavan mukaan puistojen ympärille tullaan rakentamaan Manttaalipuiston koulu ja kortteleita, jotka rajaavat puiston pinta-alaa voimakkaasti (Kuva 8). Kaupunkirakenteellisesti keskeisen sijainnin ja koulun läheisyyden vuoksi puistoihin liittyy paljon toiminnallisia paineita.



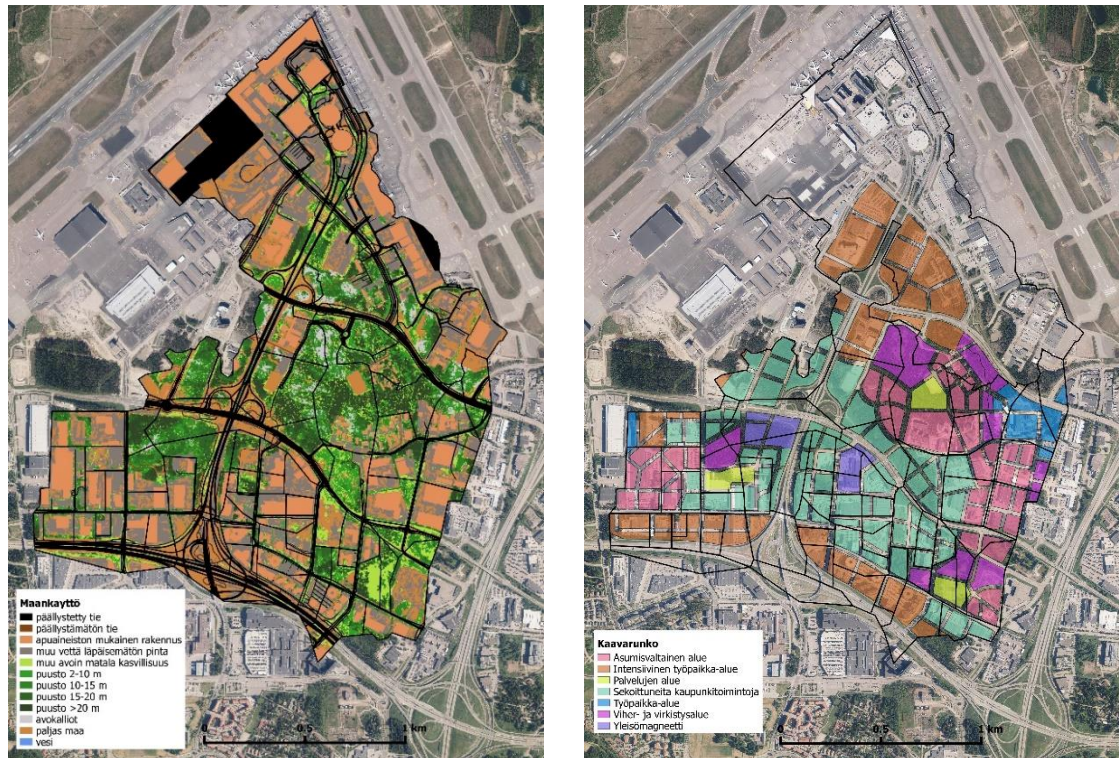
Kuva 7. Rälssi- (a) ja Manttaalipuistojen (b) läpi kulkee Palo-oja.



Kuva 8. Rälssi- ja Manttaalipuiston nykytila (a) ja asemakaava (b) (Vantaan kaupunki, 2018a).

Nykyisin Veromiehen kaupunginosa on valtaosin melko harvaan rakennettua toimisto-, teollisuus- ja logistiikka-aluetta. Se tulee kuitenkin muuttumaan alueen kehittyessä tulevaisuudessa keskustamaiseksi asuin- ja työpaikka-alueeksi (Kuva 9). Vantaan kaupungin luonnos valuma-alueelle osuvasta kaavarungosta käsittää sekoittuneiden kaupunkitoimintojen alueita, joissa sijaitsee työpaikkoja, keskustatoimintoja, asumista ja palveluita.





Kuva 9. Nykyinen (a) ja kaavarungon (b) mukainen maankäyttö valuma-alueella (Vantaan kaupunki, 2018b).

Maankäytön muutokset ja hulevesiverkoston tulvaherkkyys valuma-alueella on kasvattanut tarvetta hulevesien kokonaisvaltaiselle hallinnalle (Vantaan kaupunki, 2009b). Uudelleenrakentaminen tulee pilkkomaan nykyisiä suuria logistiikka- ja korttelialueita, mikä mahdollistaa paremmin hulevesien hallinnan ja viheralueiden kytkeytymisen toisiinsa (Kuva 10). Alueella purot tullaan säilyttämään avoimina ja niiden maisema-arvoa tullaan nostamaan hulevesien hallintatoimilla (Veromiehen verkot-työryhmä, 2018).

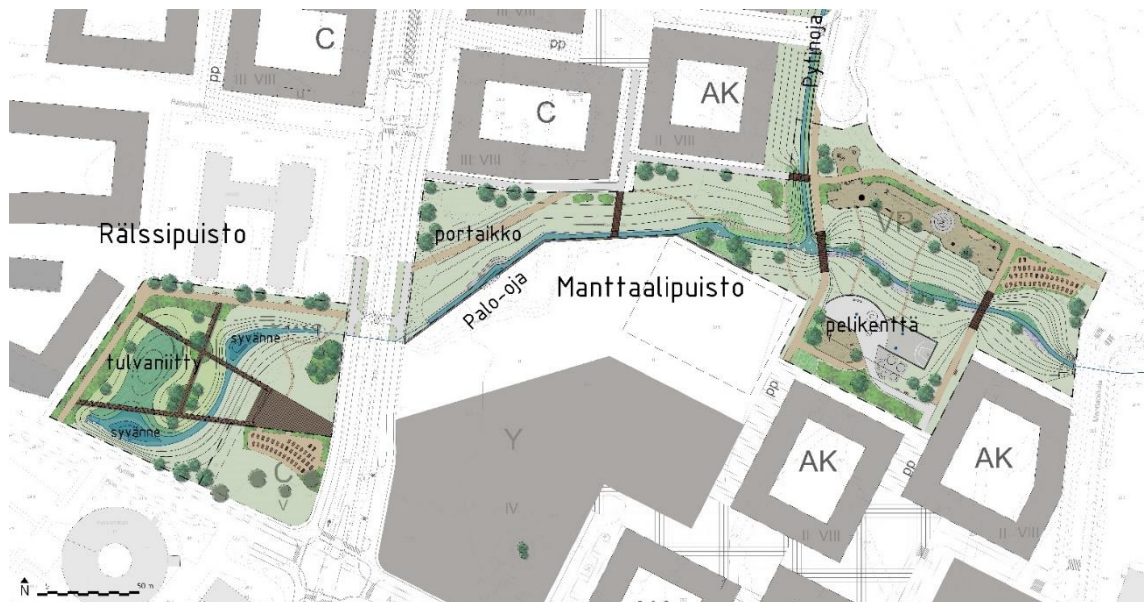


Kuva 10. Veromiehen viherverkko (Veromiehen verkot-työryhmä, 2018).

Läpäisemättömän pinnan kasvu on näkynyt Palo-ojan veden laadussa (Vantaan kaupunki, 2009b; Valkama et al., 2013). Palo-ojan suuren valuma-alueen laajojen teollisuus-, työpaikka- ja liikennealueiden pinnoilta johdetut hulevedet heikentävät puron vedenlaatua. Osa hulevesien laatukuormituksesta tulee myös Helsinki-Vantaan lentokenttäalueelta, jolta vedet huuhtoutuvat Palo-ojaan yhtyvään Pytinojaan. Lentokoneiden jäätymisen estoon käytettävää glykolia on havaittu alueen pienvesissä. Hajotessaan glykoli kuluttaa vesistön happea ja vaikuttaa siten pieneliöstöön (Valkama et al., 2013). Finavia on viime vuosien aikana kuitenkin tehnyt toimia hulevesien hallinnan parantamiseksi. Lentokoneiden seisontapaikkoja on muuan muassa varustettu hulevesien viemäroinnillä, hulevesiä on johdettu vettä käsittelevään rakenteeseen ja viivytysallas on rakennettu Pytinojan varrelle (Eklund, 2016; Finavia, 2017; Finavia, 2018). Pohjoisesta johdettujen hulevesien laadullinen hallinta lisää painetta parantaa Kehä III:n suunnasta tulevien hulevesien laatua Rälssipuistossa ennen kuin Palo-ojan ja Pytinojan vedet sekoittuvat Manttaalipuistossa. Hulevesien laadullisella hallinnalla on lisäksi tarkoitus ennallistaa taimenkantaa alueella, sillä Kirkonkylänojan vesistö on tunnistettu taimenten potentiaalisesti lisääntymisalueeksi (Valkama et al., 2013).

### 2.1.1 Hulevesien hallinnan monikäyttöiset alueet

Vantaan Rälssi- ja Manttaalipuistoihin on yhteensä suunniteltu kolme monikäyttöistä hulevesien hallinnan aluetta (Kuva 11). Rälssipuistossa tulvaniitty toimii vedenpinnan noustessa tulvatasanteena ja veden varastotilana (Kuva 12a). Palo-ojan uoman ja tulvaniityn välissä on suodattava pato, joka veden pinnan laskiessa suodattaa vettä hitaasti takaisin puroon. Tulvaniityn yli rakennetaan ritiläreitit, joilta asukkaat voivat havainnoida ympäristöään ja hyödyntää kulkuyhteytenä.



**Kuva 11. Rälssi- ja Manttaalipuiston monikäyttöiset alueet: tulvaniitty, oleskeluportaat ja pelikenttä (muokattu lähteestä Sitowise Oy, 2019).**

Manttaalipuistossa molemmat monikäyttöiset hulevesien hallinnan alueet toimivat veden pinnan noustessa varastotiloina ja ovat muina aikoina virkistyksellisessä käytössä. Oleskeluportaiden kohdalla on mahdollista päästä veden äärelle portaiden ulottuessa uoman reunaan saakka (Kuva 12b). Pelikentällä on taas useampia toimintoja, kuten rullalautailualue ja koripallokenttä (Kuva 12c).

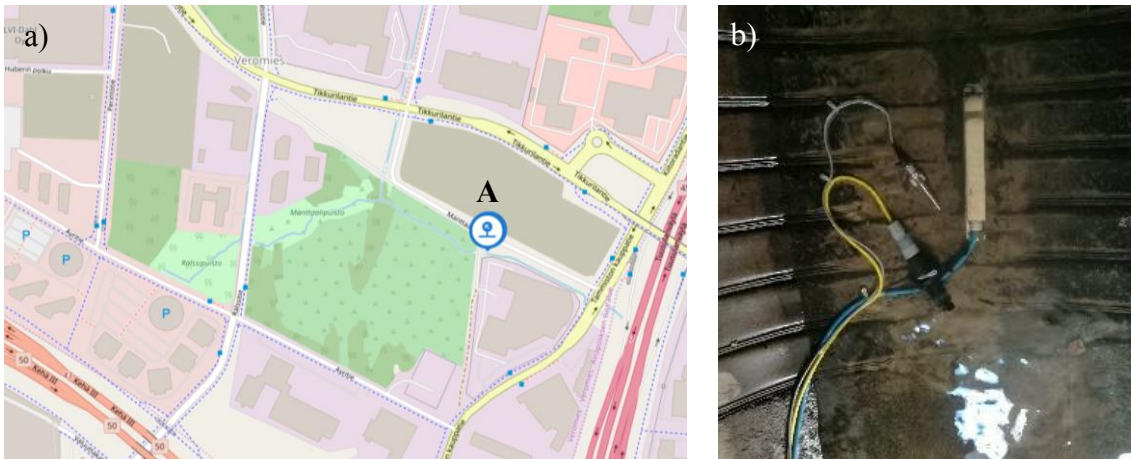




Kuva 12. Hulevesien hallinnan monikäyttöiset alueet: Rälssipuiston maisemallinen tulvaniitty (a), Manttaalipuiston hulevesiportaat (b), monikäyttöinen pelikenttä (c) (Sitowise Oy, 2019).

## 2.2 Automaattimittaukset

Manttaalipuistossa suoritettiin valuma-alueelta purkautuvan veden virtaaman ja laadun automaattimittaukset 27.6.-9.10.2018 välisenä aikana. Mittauspaikka valikoitui Manttaalipuiston päähän, jotta saatiin mitattua molempiin puistoihin tulevien virtausreittien yhteinen vesimäärä ja vedenlaatu (Kuva 13a). Mittausanturit kiinnitettiin Manttaalikujan ali kulkevan rummun (1400 mm) pohjaan (Kuva 13b).



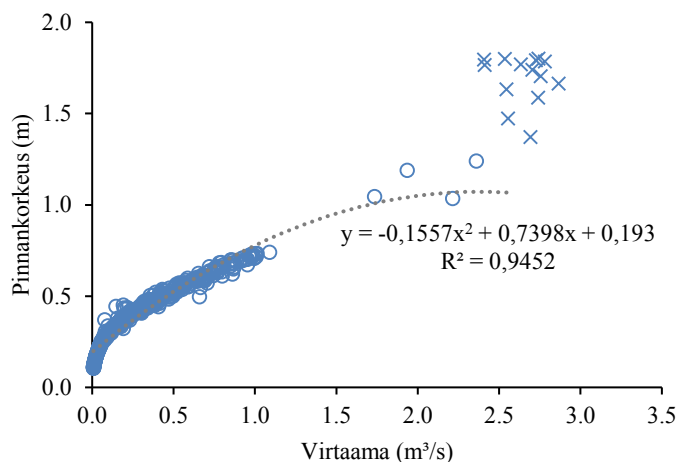
Kuva 13. Veden virtaaman ja laadun mittauspiste sijaitsee Manttaalipuiston päässä Manttaalikujan risteyksessä (a) ja mittausanturit asennettiin Manttaalikujan ali kulkevan rummun pohjaan (b) (LabkoNet, 2018; Labkotec, 2018).

Virtaamamittauksen laitteistolla mitattiin tilavuusvirtausta, pinnankorkeutta, virtausnopeutta ja lämpötilaa. Mittalaite mittasi virtaaman suoraan yli 7,5 cm pinnankorkeuksilla, mutta mentäessä tämän rajan alle se määrittä virtaaman virtausnopeuden ja pinnankorkeuden havainnoista muodostetun mallin perusteella. Pinnankorkeus mitattiin virtausmittauslaitteiston sisään rakennetulla paineanturilla. Vedenlaadullisia mitattavia parametrejä olivat sameus ja sähkönjohtokyky. Kaikkia mittaustietoja ja laitteiston toimivuutta seurattiin LabkoNet-palvelun kautta (LabkoNet, 2018). Virtaaman ja vedenlaadun parametrien mittausväli oli kymmenen minuuttia. Taulukossa 1 on listattu automaattimittauksissa käytetyt laitteet.

**Taulukko 1. Automaattimittauksessa käytetyt laitteet ja niiden mittausalue (Labkotec, 2018).**

Suure	Laite	Mittausalue
Virtaama	Nivus PCM4 -kiila-anturi	
Pinnankorkeus	Paineanturi	>7,5 cm
Sameus	RT1142-anturi	0-1000 NTU
Sähkönjohtokyky	CS10-1-OSS-anturi	0-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Datansiirto	Thermo Scientific AquaPro AP38xxJ -lähetin	10 min välein

Automaattimittauksista kehitettiin veden pinnankorkeuden ja virtaaman perusteella Palo-ojan purkautumiskäyrä (Kuva 14). Korkean virtaaman aikana huomattiin mittauksissa poikkeavaa vaihtelua, jonka epäillään johtuneen rummun täyttymisestä. Rummun suulla olevan ritilän vuoksi se patoutuu helposti, jos puroon pääsee isompia roskia. Näitä häiriötilan arvoja ei otettu huomioon purkautumiskäyrässä.



Kuva 14. Purkautumiskäyrä, jossa huomioitiin vain ympyröillä merkityt arvot.

## 2.3 Näytteenotto ja laboratorioanalyysit

Manttaalipuiston kohdalla Palo-ojasta (Kuva 13a) kerättiin myös vesinäytteitä kesän ja syksyn 2018 aikana yhteensä neljästä sadetapahtumasta (Taulukko 2). Näytteenottopäivät sijoituivat pitkälle aikavälille pitkien sateettomien ajanjaksojen vuoksi. Kesällä otettiin yksittäisiä näytesarjoja sadetapahtumien aikana, kun taas syksyllä näytesarjoja otettiin kaksi tai kolme sadetapahtumasta riippuen. Sadetapahtumien aikaiset virtaamat arvioitiin automaattimittausten purkautumiskäyrän mukaan (Kuva 14).

Taulukko 2. Näytteenoton ajankohdat.

Sade- tapahtuma	Näyte num.	Näytteenoton aika	Sateettoma t päivät	Edellisen 12h sadanta (mm)	Pinnankor- keus (mm)	Virtaama (m³/s)
1	1*	11.7.2018 10:10	6	0	-	0,009
	2*	12.8.2018 8:44	0	4,98	107	0,006
2	3*	12.8.2018 9:50	0	6,75	174	0,03
	4*	12.8.2018 10:44	0	6,8	460	0,415
3	5	23.10.2018 15:30	1	5,95	200	0,034
	6	23.10.2018 17:50	1	6,1	240	0,051
	7	12.11.2018 15:00	0	2,52	120	0,01
4	8	12.11.2018 16:50	0	3,03	180	0,027
	9	12.11.2018 17:50	0	3,25	200	0,034

\*Vedenpinnankorkeus ja virtaama määritetty automaattimittausten perusteella

Kaikki näytteet kerättiin sadetapahtuman aikana käsin mittapulloihin ja vedenpinnankorkeus mitattiin mittakepillä. Näytteet pakattiin kylmälaukkuihin ja lähetettiin sadetapahtuman jälkeisenä päivänä Lahteen Helsingin yliopiston AlmaLab-laboratorioon analysoitavaksi. Kaikista näytteistä analysointiin taulukossa 3 esitetyt parametrit paitsi PAH ja öljypitoisuudet, jotka määritettiin vain sadetapahtumille 3 ja 4. Näytteet analysoitiin keskitetysti, jolloin niitä varastoitiin jääkaapissa muutamista päivistä muutamaan kuukauteen, mikä lisäsi mittaustulosten epävarmuutta.

**Taulukko 3. Laboratorioanalyysien menetelmät.**

Suure	Standardi	Laite	Tarkkuus (%)
Sameus	SFS-EN 27027	WTW Turb 555 IR	-
pH	SFS 3021	Mettler Delta 340	-
Sähkönjohtavuus	SFS-EN 27888	WTW Cond 300i	1
Kiintoaines (TSS)	SFS-EN 872 (2005)	Whatman GF/C filter, 1,2 µm pore size	12
Orgaaninen hiili (TOC)	SFS-EN 1484	Teledyne-Tekmar Apollo 9000 HS TOC analyzer	0-20 tai 10-100 ppmC alue
Kokonaistyyppi	SFS-EN ISO 11905-1 modifioitu	Thermo Scientific Gallery Plus	16
Kokonaistfosfori	SFS-EN ISO 6878 modifioitu	Thermo Scientific Gallery Plus	11
Nitraatti	SFS-EN ISO 13395 modifioitu	Thermo Scientific Gallery Plus	6
Fosfaatti	SFS-EN ISO 6878 modifioitu	Thermo Scientific Gallery Plus	15
Raskasmetallit	K-112-ICP-MS-160726	Perkin-Elmer Elan 6000 ICP-MS	6
PAH	O-180831-PAH (in-house -menetelmä)	Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra	
Öljyt	SFS-EN ISO 9377-2 (2001)	Agilent 6890N FID -kromatografia	

Kaikista näytteistä analysoitiin raskasmetallien liukoiset pitoisuudet (Taulukko 4). Lisäksi analysoitiin viimeisen sadetapahtuman kokonaismetallipitoisuudet, joiden avulla määritettiin liukoisten metallien osuudet kokonaismetallipitoisuuksista.

**Taulukko 4. Metallien määrittämisrajat ja mittaustarkkuus.**

Metalli	Liukoisten metallien mittaustarkkuus (%)	Liukoisten metallien määrittämisraja (µg/l)	Kokonaismetallien määrittämisraja (µg/l)
Cd	7	0,04	2,3
Co	14	0,11	3,4
Cr	9	0,53	17
Cu	19	2,3	28
Mn	17	0,13	6,3
Ni	10	0,14	39
Fe	26	10	175
Zn	12	15	78
V	15	0,11	6,5
As	10	0,3	3
Pb	19	0,13	51
Se	-	-	28

## 2.4 Tilastolliset testit näytetuloksille

Spearmanin korrelaatioanalyysin perusteella määritettiin parametrit, joiden välillä on tilastollisesti merkitseviä riippuvuuksia. Samalla tutkittiin, mitkä parametrit voisivat toimia laadullisina indikaattoriparametreinä puiston automaattimittauksissa. Näytetuloksia oli yhteensä yhdeksän (N=9), mutta ensimmäisen ja toisen sadetapahtuman osalta manuaalisia vedenpinnankorkeuden ja sameuden mittauksia ei otettu, jolloin niiden parametrien osalta tuloksia oli vain viisi (N=5). Korrelaatioanalyysin tulosten tarkastelussa otettiin huomioon vain tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot ( $p < 0.05$ ).

## 2.5 Sadetapahtumat

Säähavaintotiedot kerättiin Ilmatieteen laitoksen avoimen latauspalvelun kautta (Ilmatieteenlaitos, 2019). Lähin mittausasema oli Helsinki-Vantaan lentokentän mittausasema, joka sijaitsee noin kolmen kilometrin päästä puistoista. Vuoden 2018 kesä oli poikkeuksellisen kuiva (Ilmatieteenlaitos, 2018). Kesän aikana havaittiin vain muutamia sadetapahtumia, jotka aiheuttivat muutoksia Palo-ojan virtaamassa

automaattimittausten aikana. Näistä sadanta-valunta-tapahtumista valittiin kolme tapahtumaa virtausmallin kalibrointia ja kolme tapahtumaa mallin validointia varten. Tapahtumat ovat tarkemmin kuvattu kappaleessa 2.6.3.

Mitoitussateet valittiin Vantaan kaupungin mitoitusperusteiden mukaan. Yleistä sadetapahtumaa kuvataan kerran kahdessa vuodessa ja harvinaista kerran sadassa vuodessa toistuvalla mitoitusateella. Usein toistuvilla sateilla on tarkoitus tutkia, mille tasolle vedenpinta nousee puistorakenteissa yleisesti. Harvoin toistuvilla sateilla tutkitaan tulvatilannetta veden levitessä puistossa maksimivedenkorkeudelle. Eri sadetapahtumien toistuvuudet, kestot ja kokonaissademäärät on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5. Mitoitussateiden intensiteetit ja sademäärät.**

Mitoitussade	Sateen intensiteetti 60 min (l/s/ha)	Sademäärä 60 min (mm)
1/2 a	36,7	13,2
1/100 a	100	36

## 2.6 Rälssi- ja Manttaalipuiston virtausmallinnus

### 2.6.1 Valuma-alueen rajausta ja maankäytön määrittäminen

Palo-ojan valuma-alue määritettiin AutoCAD-ohjelmalla Maanmittauslaitoksen korkeuskartan, kantakartan ja hulevesien johtokartan avulla. Osavaluma-alueiden määrittelyä tarkennettiin hyödyntämällä tietoja tontti- tai aluekohtaisista hulevesiviemäreistä. Puiston läheisyydessä olevat alueet jaettiin pienempiin osavaluma-alueisiin kuin kauempana olevat alueet. Tällä tavoin saatiin tarkemmin määritettyä läheltä tulevan veden määrä puistoon. Kuitenkin osavaluma-aluejako tehtiin melko karkeasti valuma-alueen suuren pinta-alan vuoksi.

Osavaluma-alueiden maankäyttö määriteltiin QGIS-paikkatieto-ohjelmalla ja Helsingin seudun ympäristöpalveluiden aineistolla, jonka avulla osavaluma-alueille laskettiin läpäisemättömyys-prosentti (TIA-%, *Total Impervious Area*). Paikkatiedon avulla määriteltiin lisäksi osavaluma-alueiden pinta-alat ja hydrauliset leveydet, jotka tarvittiin lähtötietoina virtausmallinnukseen.

Tässä työssä selvitettiin myös Aviapoliksen kaavarungon perusteella, kuinka paljon läpäisemätön pinta-ala tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Kaavarungossa alueet jaettiin kuvassa 9b esitettyihin maankäyttötyppeihin, joille arviotiin vettä läpäisemättömän pinta-alan osuudet (Taulukko 6). Kaavarungon ulkopuoliset osat oletettiin olevan teitä tai katuja sekä niihin liittyviä alueita.

**Taulukko 6. Kaavarungon mukaisen maankäytön pintatyyppien osuudet ja TIA-% (Sitowise Oy, 2019b)**

Kuvaus	Päällystetty tie	Päällystämätön tie	Katto	Muu vettä läpäisevän pintaa	Muu avoin matala kasvillisuus	Metsä	Paljasmaa	Vesi	TIA-%
<b>TIA-%</b>	<b>100 %</b>	<b>50 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>10 %</b>	<b>5 %</b>	<b>20 %</b>	<b>100 %</b>	
Asumisvaltainen alue	15%		45%		40%				64 %
Intensiivinen työpaikka-alue	15%		60%	10%	15%				87 %
Palvelujen alue	5%	10%	40%	15%	20%		10%		69 %
Sekoittuneita kaupunkitoimintoja	10%	5%	40%	15%	30%				71 %
Työpaikka-alue	5%	10%	40%	15%	20%		10%		69 %
Viher- ja virkistysalue	10%				70%	10%		10%	28 %
Yleisömaagneetti	10%	10%	25%	10%	25%	10%	10%		55 %
Tiet ja kadut sekä niihin liittyvät alueet	60%	10%			20%		10%		69 %

## 2.6.2 Mallinnus Storm Water Management Model -ohjelmalla (SWMM)

Valuma-alueelta Rälssi- ja Manttaalipuistoon tulevien hulevesien virtaamat mallinnettiin EPA SWMM 5.1 -ohjelmalla (*Storm Water Management Model*) (Rossmann, 2010). Mallissa käytettiin lähtötietona osavaluma-alueille paikkatieto-ohjelmalla määritettyjä maankäytön parametrejä, joita olivat pinta-ala, läpäisemättömän pinta-alan osuus ja hydraulinen leveys. Hydraulinen leveys määritettiin kaavan 1 mukaan (Krebs et al. 2014), missä  $W$  on hydraulinen leveys ja  $A$  osavaluma-alueen pinta-ala.

$$W = 0,7 \sqrt{A} \quad (1)$$

Hulevesiverkosto saatiin valuma-alueelle vuonna 2012 Vantaan kaupungin teettämästä SWMM-mallista. Saadun verkostomallin tarkistus tehtiin pohjautuen johtokarttaan, jonka perusteella viemärien putkikoot muutettiin vastaamaan nykyistä tilannetta. Muutamia avouomia huomattiin olevan putkitettu verkostomallin rakentamisen jälkeen, mutta niitä ei muutettu puuttuvien tietojen vuoksi.

Mallinnuksessa hyödynnettiin vuonna 2016 Finavia Oyj:lle tehtyä MIKE URBAN -mallia (DHI, 2016), joka kattaa valuma-alueen B1 (Kuva 6). Finavian malli ajettiin samoilla sateilla kuin SWMM-malli, jolloin saatiin B1 valuma-alueen purkupisteen (Pytinojan yläjuoksulla) virtaamatiedot. Nämä virtaamatiedot tuotiin lähtötietoina (*Inflow*,  $m^3/s$ ) SWMM-malliin. Kalibrointi- ja validointitilanteissa käytettiin automaattitoimisten mittauksen aikaisia sadantatietoja. Mitoitustilanteissa malli ajettiin kahden vuoden ja sadan vuoden välein toistuvilla 60 minuutin sateilla (Taulukko 5).

Veden kulkeutumista hulevesiverkostossa simulointiin *Kinematic Wave* -virtausmallilla, ja veden imeytymishäviötä kuvattiin *Green-Ampt*-imeytymismallilla (Rossmann, 2010). Imeytymismallin parametrisoinnin vaikutusta mallin virtaamatuloksiin testattiin muuttamalla niiden arvoja (Taulukko 7). Guanin et al. (2015a) ja Niemen et al. (2018) parametrit ovat SWMM-mallien kalibrointituloksilla määritettyjä tiiviiden asuinalueiden parametrejä ja Rossmannin (2010) parametrit ovat ohjearvoja hyvin vettä läpäisevälle hiekalle (*silt loam*).

Taulukko 7. Imeytymismallin parametrit.

	Guan et al. (2015)	Niemi et al. (2018)	Rossmann (2010)
Hydraulinen johtavuus (mm/h)	4,21	24,965	6,604
Kapilaarinen imukorkeus (mm)	88,9	55,832	169,9
Maaperän kosteusvaje (-)	0,217	0,35	0,19

Suunnitellun puiston hulevesien viivytyiskykyä tutkittiin SWMM-mallin avulla. Nykytilannetta kuvaavaan malliin lisättiin kumpaankin puistoon suunniteltu tulvatilavuus varastoina (*Storage Node, m<sup>3</sup>*), joiden koko määritettiin AutoCAD-ohjelmalla puistojen pintamalleista. Varastotilojen alajuoksun puolelle lisättiin yleissuunnitelman mukaiset viivyttävät patorakenteet (*Weir*), jotka nostavat vedenpintaa yleisesti puistoissa ja ohjaavat hulevedet siten monikäyttöisille alueille jo pienemmillä sateilla.

### 2.6.3 Kalibrointi ja validointi PEST-ohjelmalla

SWMM-malli kalibroitiin PEST-ohjelmalla (*Model-Independent Parameter Estimation*) (Doherty, 2005) virtaaman automaattimittausten avulla. Kalibroinnissa PEST etsii parametrien yhdistelmää, jolla mallinnetut ja mitatut virtaama-arvot ovat lähimpänä toisiaan. Sadantatapahtumat, joita käytettiin mallin kalibroimiseen (K1-K3) ja validoimiseen on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Mallinnuksessa käytetyt kalibrointitapahtumat (K1-K3) ja validointitapahtumat (V1-V3).

Tapahtuma	Alku pvm.	Loppu pvm.	Kesto (hh:mm)	Sademäärä(mm)
K1	12.8.2018 10:00	12.8.2018 17:30	7:30	3,78
K2	24.8.2018 21:40	25.8.2018 05:00	7:20	7,73
K3	26.8.2018 18:40	27.8.2018 00:00	5:20	3,6
V1	12.9.2018 19:00	12.9.2018 02:30	07:30	4,97
V2	17.9.2018 08:40	17.9.2018 18:20	9:40	7,73
V3	3.10.2018 10:00	4.10.2018 02:10	16:10	10,08

Kalibroitaville parametreille määriteltiin ala- ja yläraja sekä lähtöarvo, joiden väliltä PEST haki kullekin parametrille optimaalista arvoa (Doherty, 2018). PEST muodostaa herkkyystiedoston (*.sen*), jonka avulla voidaan tutkia parametrien herkkyyttä ja keskinäistä korrelointia. Jos parametrit korreloivat keskenään, vähiten herkät parametrit asetetaan vakioiksi, koska muuten kalibroinnin luotettavuus heikkenee.

Kalibrointi- ja validointitapahtumien mallinnustulosten arvioinnissa käytettiin neljää hyvyyslukua:

- 2) Nash-Sutcliffen tehokkuuskerrointa (NSE, *Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient*) (Nash & Sutcliffe, 1970)
- 3) Selitysastetta ( $R^2$ ) (Hirsch et al., 1992)
- 4) Keskimääräistä absoluuttista poikkeamaa MAE (*Mean absolute error*)
- 5) Suhteellista poikkeamaa PBIAS (*Percent bias*)



$$NSE = 1 - \frac{\sum_t (Q_{o,t} - Q_{m,t})^2}{\sum_t (Q_{o,t} - \bar{Q}_o)^2} \quad (2)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_t (Q_{o,t} - \bar{Q}_o)(Q_{m,t} - \bar{Q}_m)}{\sqrt{\sum_t (Q_{o,t} - \bar{Q}_o)^2 \sum_t (Q_{m,t} - \bar{Q}_m)^2}} \right]^2 \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_t |Q_{m,t} - Q_{o,t}| \quad (4)$$

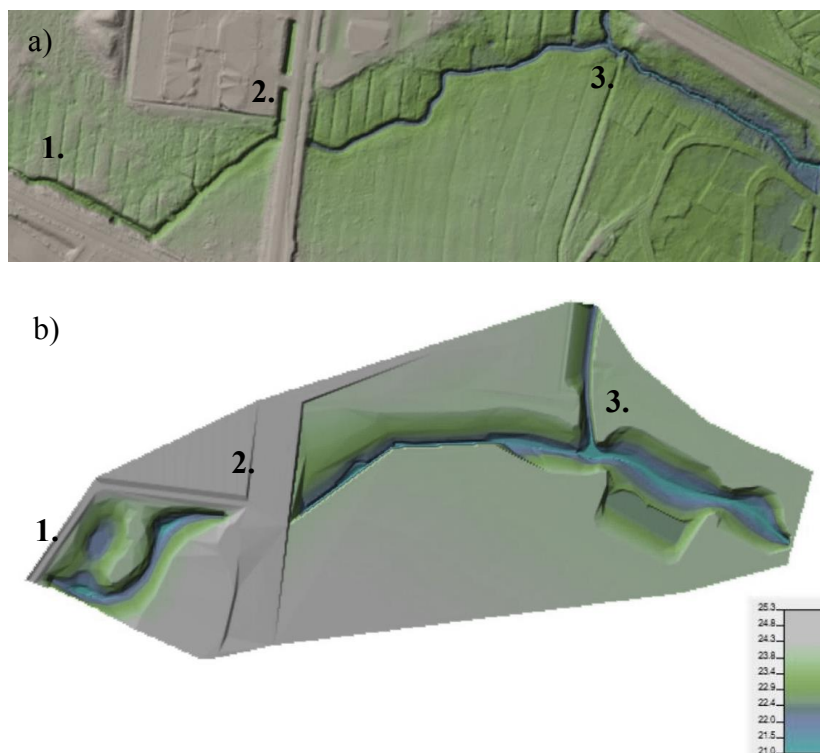
$$PBIAS = \frac{\sum_t (Q_{o,t} - Q_{m,t})^2}{\sum_t Q_{o,t}} 100 \quad (5)$$

Yhtälöissä (2-5)  $Q_{o,t}$  on havaittu virtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ajanhetkellä  $t$ ,  $Q_{m,t}$  on mallinnettu virtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $\bar{Q}_o$  on havaitun virtaaman keskiarvo,  $\bar{Q}_m$  on mallinnetun virtaaman keskiarvo ja  $n$  on havaintojen lukumäärä. NSE voi vaihdella  $-\infty$  ja 1 välillä. Korrelaatiokerroin 1 tarkoittaa täydellistä yhteensopivuutta mallinnetun ja mitatun virtaaman välillä eli mitä lähempänä kerroin on arvoa 1, sitä luotettavampi malli on (Ritter & Muñoz-Carpena, 2013). Moriasi et al. (2007) mukaan  $R^2$  voi saada arvoja 0 ja 1 väliltä. Se mittaa mallin selittämää osuutta mitattujen arvojen kokonaisvaihtelusta. MAE kuvaa mitattujen ja mallinnettujen arvojen absoluuttista eroa mitatussa yksikössä. Luku 0 kertoo, että mallinnettu ja mitattu virtaama vastaavat toisiaan. PBIAS mittaa mallin arvojen keskimääräistä taipumusta olla joko pienempiä tai suurempia kuin mitatut arvot. Optimaalinen PBIAS-arvo on 0.

## 2.7 Rälssi- ja Manttaalipuiston tulvamallinnus

Palo-oja mallinnettiin yksiulotteisesti HEC-RAS (*The Corps of Engineers Hydraulic Engineering Center's River Analysis System*) -ohjelmalla, jonka avulla selvitettiin monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden täyttymistä erilaisissa mitoitussadetilanteissa (U.S. Army of Corps of Engineers, 2016). HEC-RAS-ohjelma on yleisesti käytetty työkalu luonnonuomien ja rakennettujen uomien mallintamisessa.

Virtaamatiedot uoman eri osuuksille saatiin syötetietoina SWMM-mallista. Veden virtaama Palo-ojassa muuttuu kolmessa eri puiston kohdassa: Rälssipuiston päässä (Kuva 15, kohta 1), Rälssitien ali kulkevan rummun kohdalla (kohta 2) ja Manttaalipuistossa Pytinojan risteyksen kohdalla (kohta 3). Näitä kohtia vastaaviin poikkileikkauksiin syötettiin suurimmat virtaamat HEC-RAS-malliin tasaisena virtaamana. Tällöin malli kuvaa suurinta puiston virtaamatilannetta tietyllä mitoitussateella.



Kuva 15. Nykyisen (a) ja suunnitellun (b) puiston pintamallit.

Uoman geometriset tiedot valmisteltiin AutoCAD-ohjelmalla. Pistepilviaineistosta tehtiin nykyisille puistoille ja yleissuunnitelmasta tuleville puistoille pintamallit, joista saatiin poikkileikkaukset Palo-ojan uomalle kummassakin tilanteessa (Kuva 15). Poikkileikkaukset jaettiin kolmeen osaan, josta keskimäinen on uoman pohja ja pohjan molemmiin puolin ovat uoman penkat. Uoman penkkojen sijainnit määrittelevät kussakin poikkileikkauksessa pääuoman ja tulvatasanteen rajan. Toisin sanoen, jos vesi nousee pääuoman tason yli, on kyseessä tulvatilanne.

HEC-RAS-ohjelmassa poikkileikkauksille ja uoman eri osuuksille määritettiin Manningin karkeuskertoimet, joiden avulla mallinnuksessa otettiin huomioon Palo-ojan uoman mutkaisuus ja karkeus eri kohdissa (Taulukko 9). Rakentamisen ja uoman kunnostuksen seurauksena suunnitellussa puistossa karkeuskertoimet olivat pienempiä verrattuna nykyiseen puistoon.

Taulukko 9. HEC-RAS-mallin Manningin kertoimet nykyisessä ja suunnitellussa puistossa (U.S. Army of Corps of Engineers, 2016).

	Kuvaus	Manningin kerroin (-)
<i>Nykytilanne</i>		
Uoman pohja	Kunnostamaton uoma, ei kasvillisuutta	0,05
Uoman penkereet	Kunnostamaton uoma, tiivis ja korkea kasvillisuus	0,08
<i>Tuleva tilanne</i>		
Uoman pohja/ Rälssipuisto	Kunnostettu uoma	0,025
Uoman pohja/ Manttaalipuisto	Betoninen/kunnostettu uoma	0,013/0,025
Uoman penkereet	Nurmikko	0,03
<i>Rummut</i>		
Rälssitie	Aaltometallinen	0,019
Manttaalikuja	Betoninen	0,011

Palo-ojan rumpujen ja ylittävien teiden tiedot lisättiin malliin silta-rumpu-työkalulla (*Bridge/Culvert*). Rumpujen parametrit määriteltiin maastomittauksien ja kantakartan perusteella. Parametrien oletettiin olevan samat kummassakin tarkasteltavassa tilanteessa. Ainoastaan suunnitellun puiston mallinnuksessa Rälssitien ali kulkevan rummun korkotaso muutettiin vastaamaan yleissuunnitelmaa.

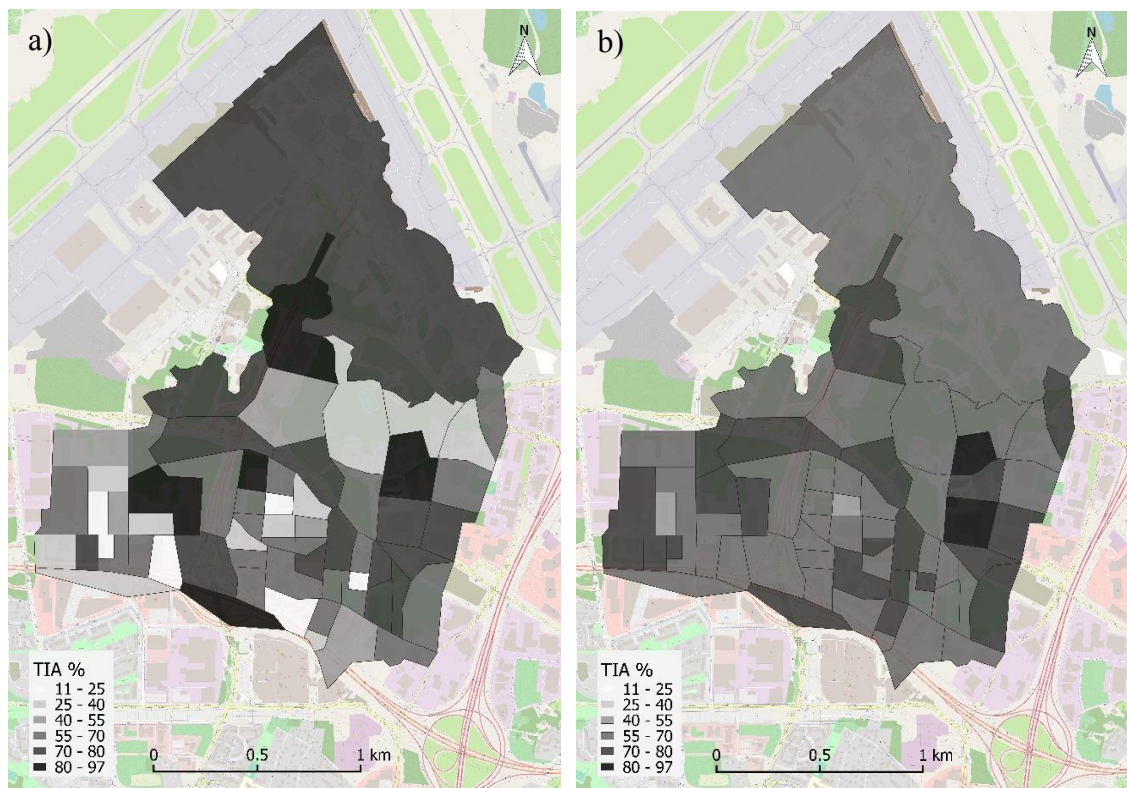
Reunaehtoina nykyisen puiston tulvamallinnuksessa käytettiin automaattimittauksilla muodostettua purkautumiskäyrää (*Known W.S.*) (Kuva 14). Ekstrapoloimalla purkautumiskäyrää saatiin määritettyä mitoitustilanteita vastaavat vedenpinnankorkeudet. Reunaehtona suunnitellun puiston tilanteissa käytettiin pohjan kaltevuutta (*Normal Depth*), joka Palo-ojan ylä- ja alajuoksulla on 0,1 %. HEC-RAS-mallinnuksessa ei tehty kalibrointia tai validointia mittauksia vastaan.

### 3 Tulokset ja niiden tarkastelu

#### 3.1 Hulevesien määrällisen hallinnan tulokset

##### 3.1.1 Valuma-aluejako ja läpäisemättömän pinnan osuus

Yhteensä Rälssi- ja Manttaalipuistojen yläpuoliselle alueelle muodostui 65 osavaluma-alueita, joiden läpäisemättömän pinnan osuus vaihteli nykytilassa 11 % ja 97 % välillä. Koko valuma-alueen TIA-% oli keskimäärin 58 % (Kuva 16a). Tuominen (2015) laski Kirkonkylänojan valuma-alueen TIA:ksi 55% mitatun sadanta- ja valuntamittausten avulla, mikä vastaa tässä työssä laskettua arvoa. Kaavarungon maankäyttötyyppien perusteella laskettu TIA-% tulee kasvamaan valuma-alueella noin 10 prosenttiyksikköä eli 69 %:iin (Kuva 16b). Kuitenkin osavaluma-alueiden TIA-%:n vaihteluväli (46-84 %) osoittautui pienentyvän tulevassa tilassa.



Kuva 16. Nykyisen maankäytön (a) ja kaavarungon mukaisella maankäytöllä (b) lasketut läpäisemättömän pinta-alan osuudet osavaluma-alueittain.

Tulevassa tilassa läpäisemättömän pinta-alan muutokset ovat johdonmukaisia kaavarungon kanssa (Vantaan kaupunki, 2018). Kaavarungon mukaan nykyisiä laajoja asfalttikenttiä tullaan pilkkomaan ja vettäläpäiseviä alueita ja kasvillisuutta tullaan lisäämään tasaisemmin valuma-alueelle (Veromiehen verkot-työryhmä, 2018). Toisaalta kaupunkialueet tulevat tiivistymään, jolloin nykyisin rakentamattomille alueille tullaan rakentamaan uusia kaupunkitoimintoja.

### 3.1.2 SWMM-mallin kalibrointi ja validointi

Kalibroitavien SWMM-malliparametrien valinnassa hyödynnettiin tietoja aikaisemmista suomalaisille kaupunkialueille kalibroiduista sadanta-valuntamalleista (Holt et al., 2018). Taulukossa 10 on esitetty viiden kalibroitavan parametrin alkuarvot, vaihteluvälit ja lopulliset kalibroidut arvot.

**Taulukko 10. SWMM-mallin parametrit.**

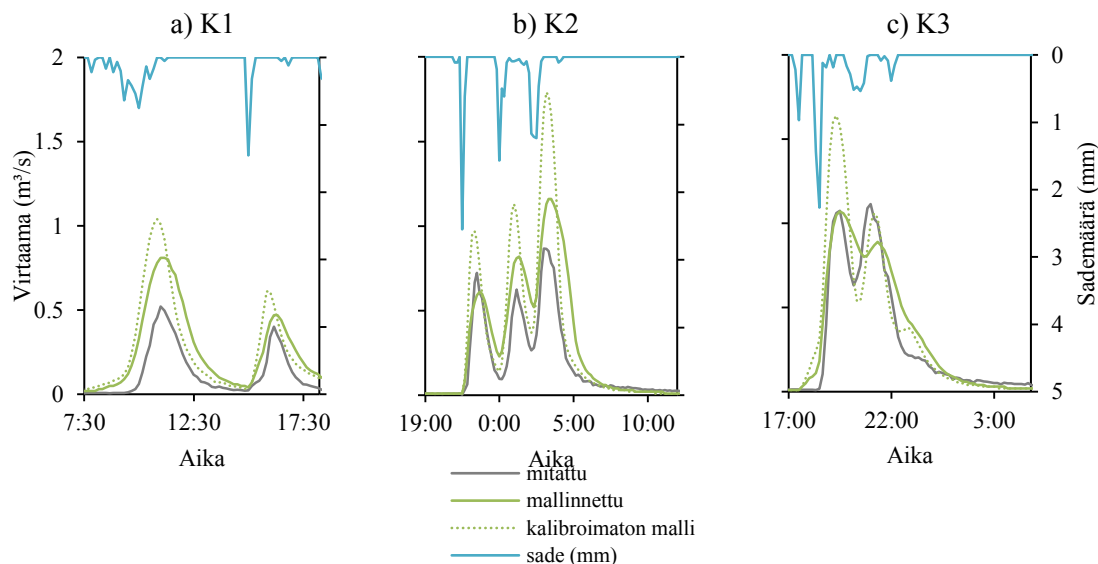
Parametri	Pintatyyppi	Min.	Max.	Alkuarvo	Kalibroitu arvo
<b>Manningin kerroin (-)</b>	läpäisemätön alue (asfaltti)	0,011	0,016	0,016	0,011
Valuma-alue	läpäisevä alue (kasvillisuus)	0,1	0,8	0,4	0,76
<b>Manningin kerroin (-)</b>	hulevesiviemäri (muovi, betoni) / avouoma	0,011	0,049	0,015	0,049
<b>Hulevesiverkosto</b>					
<b>Painannesäilyntä (mm)</b>	läpäisemätön pinta (asfaltti, sora)	0,35	1,5	0,5	0,84
	läpäisevä pinta (kasvillisuus)	2,145	7,6	4,6	2,45

PEST:in herkkyyssanalyysin mukaan tärkeimmät parametrit olivat läpäisemättömän pinta-alan osuus ja hulevesiverkoston Manningin kerroin. Nämä kaksi herkinä parametria olivat myös Bracon et al. (2008), Krebsin et al. (2014), Guanin et al. (2015a) sekä Raudaskosken (2016) tunnistamien tärkeimpien parametrien joukossa. Monet kalibroiduista parametrisoinneista (Taulukko 10) olivat kalibroinnissa käytetyn vaihteluvälin ääripäissä, mikä voi merkitä sitä, että muuttamalla havaintoväliä, lopulliseksi tulokseksi olisi saatu erilainen parametrisointi. Toisaalta ääripäiden arvoihin on päädytty usein jo aikaisemmissakin tutkimuksissa (esim. Krebs et al., 2013). Kalibroidut parametrisoinnit sopivat yhteen suomalaisten tiiviiden asuinalueiden kanssa (esim. Holt et al., 2018), joten kalibrointitulosta pidettiin riittävän hyvänä käyttötarkoitukseensa.

Maaperäparametrien vaikutusta simuloituihin ylivirtaamiin tutkittiin muuttamalla maaperäparametrien arvoja. Green-Ampt-parametrisoinnin (Taulukko 7) muuttaminen ei kuitenkaan vaikuttanut virtaaman mallinnustuloksiin kalibrointitapahtumissa. Maaperäparametrisoinnin vaikutuksen puuttuminen kalibrointitapahtumissa voi esimerkiksi johtua valuma-alueen korkeasta läpäisemättömän pinnan osuudesta (TIA 58%) (Krebs et al., 2013) ja kalibrointiin valittujen sadetapahtumien pienuudesta (3,6-7,7 mm). Esimerkiksi Sillanpää (2013) ja Guan et al. (2016) osoittivat, että suomalaisilla kaupunkivaluma-alueilla hulevesiä alkoi muodostua läpäisemättömien pintojen ulkopuolelta vasta, kun sademäärä tapahtuman aikana ylitti noin 17-20 millimetriä. Maaperäparametrien merkitys kasvaa suuremmilla sademäärillä, jolloin pintavaluntaa alkaa muodostua myös läpäisemättömien pintojen ulkopuolelta. Tästä johtuen maaperäparametrien arvojen oikeellisuus on tärkeä mallin ja suunnittelun kannalta, kun mallilla ajetaan mitoitussateita, joiden vesimäärät ovat suuria.

Yleisesti SWMM-ohjelmaa on käytetty pienien kaupunkivaluma-alueiden sadanta-valuntaprosessin mallinnuksissa (Holt et al., 2018). Suomalaisia esimerkkejä onnistuneista mallisovituksista löytyy kuitenkin myös suurille kaupunkivaluma-alueille (Tikkanen, 2013; Krebs et al., 2016). Tikkanen (2013) mukaan kalibrointi osoittautui olevan keskeisessä roolissa, koska kirjallisuudesta saatavat arvot ovat epätarkkoja suhteessa kalibroituihin arvoihin.

Kalibroinnin tärkeyttä on havainnollistettu kuvassa 17, jossa on esitetty kalibroidun ja kalibroimattoman mallin virtaamakäyrät. Mallinnetut kalibrointitapahtumien ylivirtaamat pienenevät kalibroinnin tuloksena 14-36 prosenttiyksikköä. Taulukossa 11 on esitetty myös kalibrointi- ja validointitapahtumien kalibroitujen ja kalibroimattomien mallien tulokset sekä mitatut maksimivirtaamat.



Kuva 17. Kalibrointitapahtumat K1 (a), K2 (b) ja K3 (c).

Taulukko 11. Kalibroidulla ja kalibroimattomalla mallilla simuloitujen ylivirtaamien vertailu mitattuihin virtaamiin (ylivirtaama m³/s/ero mittauksiin %), K1-K3 = kalibrointitapahtumat, V1-V3 = validointitapahtumat.

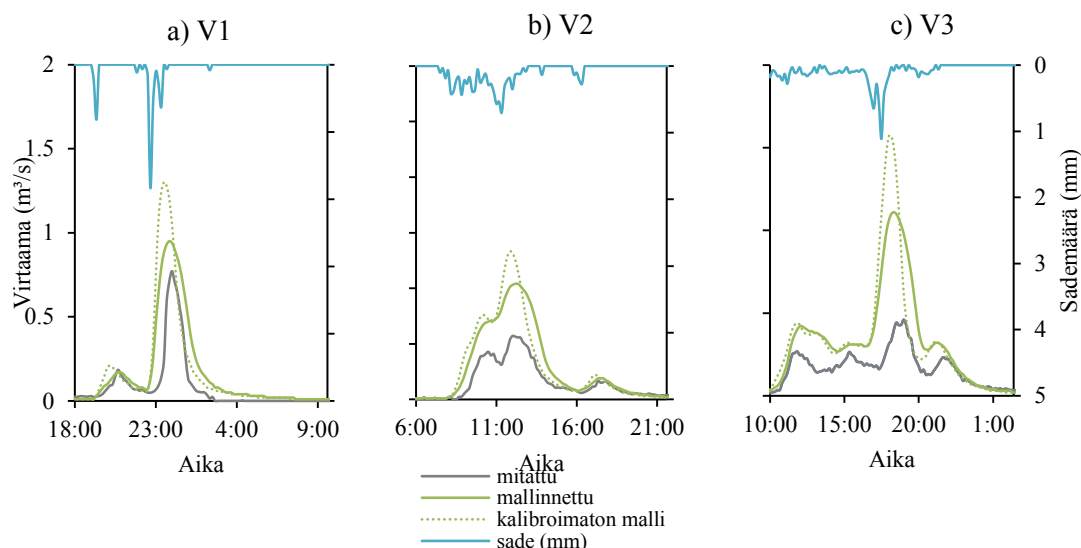
	K1	K2	K3	V1	V2	V3
Mitattu	0,52	0,867	1,115	0,772	0,571	0,46
Kalibroitu	0,81/36 %	1,16/25 %	1,07/-4 %	0,95/19 %	1,04/45 %	1,11/59 %
Kalibroimaton	1,04/50 %	1,79/52 %	1,64/32 %	1,28/40 %	1,33/57 %	1,57/71 %

Kalibrointitapahtumien simuloidun valuntakäyrän muoto ja ylivirtaamien ajoittuminen osuivat suuremmaksi osaksi kohdalleen (0-20 min) isosta valuma-alueesta huolimatta (Kuva 17). Hyvistä ylivirtaamien ajoittumisista kertoo myös kalibrointitapahtumien selitysasteet ( $R^2$ ), jotka olivat kaikille tapahtumille yli 0,5 (Taulukko 12). Moriasin (2007) mukaan yli 0,5 selitysaste tarkoittaa hyväksyttävää yhteensopivuutta. Toisaalta NSE-luvut olivat kaikille tapahtumille, paitsi K3:lle alle hyväksyttävän rajan ( $>0$ ), joka kertoo, että mitattujen arvojen keskiarvo olisi parempi estimaatti ylivirtaamista kuin mallinnetut arvot. Negatiivisia NSE-arvoja selittää osittain PBIAS-luvut, joiden perusteella malli yliarvioi kalibrointitapahtumien virtaamia 13-49 % välillä. Myös MAE-arvojen perusteella malli yliarvioi keskimääräisesti virtaamia (Moriasi et al., 2007).

Taulukko 12. Kalibrointi- ja validointitapahtumien hyvyysluvut.

	$R^2$ (-)	NSE (-)	MAE (m³/s)	PBIAS (%)
<b>Kalibrointi</b>				
Sadetapahtuma K1	0,89	-0,77	0,167	48,52
Sadetapahtuma K2	0,64	-0,64	0,252	37,18
Sadetapahtuma K3	0,83	0,74	0,155	13,11
<b>Validointi</b>				
Sadetapahtuma V1	0,73	-0,14	0,145	46,15
Sadetapahtuma V2	0,95	-1,23	0,169	45,44
Sadetapahtuma V3	0,78	-5,48	0,168	48,88

Validointitapahtumien ylivirtaamien oikeellisuutta saatiin parannettua kalibroimalla 12-21 prosenttiyksiköllä verrattuna kalibroimattomalla mallilla simuloituihin ylivirtaamiin (Taulukko 11). Kaikkien validointitapahtumien selitysasteet (Taulukko 12) ylittivät hyväksyttävän rajan (0,5). Tästä johtuen myös validointitapahtumille mallin valuntakäyrän muoto ja ylivirtaamien ajoittuminen vastaavat mitattuja arvoja (Kuva 18). Kuitenkin kalibroitu malli yliarvioi validointitapahtumissa systemaattisemmin kuin kalibrointitapahtumissa. Tästä kertoo kuvaajien lisäksi PBIAS-arvot, jotka olivat kaikille tapahtumille yli 45 %, ja MAE-arvojen positiiviset arvot. Lisäksi NSE-arvot jäivät alle hyväksyttävän rajan ( $>0$ ).



Kuva 18. Validointitapahtumat V1 (a), V2 (b) ja V3 (c).

SWMM-mallin virtaamatuloksiin vaikuttaa käytetyn valuma-alueen raja- ja valuma-alueen hulevesien johtamisreitit voivat muuttua, kun alue tiivistyy ja uusia alueita rakennetaan. Suurempi mallinnettu kuin mitattu valunta (Taulukko 13) viittaa siihen, että osa valuma-alueesta tai hulevesiverkostosta ei ole kytköksissä Palo-ojaan. Tikkasen (2013) mukaan ison valuma-alueen rajaukseen liittyy epävarmuuksia varsinkin hulevesiverkoston rumputietojen suhteen.

Taulukko 13. Kalibroidulla ja kalibroimattomalla mallilla lasketut valunnan määrät (valunnan määrä mm/valuntaprosentti), K1-K3 = kalibrointitapahtumat, V1-V3 = validointitapahtumat.

		K1	K2	K3	V1	V2	V3
Sadanta (mm)		3,78	7,73	3,60	4,97	7,73	10,10
Valunta	Mitattu	1,27/34 %	2,86/37 %	310/86 %	1,19/24 %	2,34/30 %	2,66/26 %
	Kalibroitu	2,47/65 %	4,55/59 %	3,57/99 %	2,22/45 %	4,29/56 %	5,20/52 %
	Kalibroimaton	2,51/66 %	4,94/64 %	3,74/104 %	2,28/46 %	4,34/56 %	5,29/52 %

Eroja mitattujen ja mallinnettujen virtaamien välillä voi osaltaan selittää mallinnuksessa käytetyn sade- ja virtaama-aineiston mittauspaiikkojen välinen etäisyys. Varsinkin suurella valuma-alueella voi olla merkittäviä alueellisia vaihteluita sateen intensiteetissä ja kestossa, mikä johtaa mallinnettujen virtaamien yli- tai aliarvioimiseen. Krebs et al. (2014) havaitsivat, että jo kahden kilometrien etäisyys virtaama- ja sadantamittauspisteiden välillä heikensi sadanta-valunta-simulointien tuloksia. Lisäksi Niemi et al. (2017) mukaan mittauspaiikkojen etäisyyden kasvaessa todellisen ja käytetyn sademäärän vastaavuus heikkeni.



Suunnittelun kannalta virtaamamallinnuksen tarkoituksena oli kuitenkin löytää mahdollisimman realistiset puistoon tulevat virtaamat, sillä niiden perusteella puiston rakenteet mitoitettiin. Liiallinen virtaamien yliarviointi haittaa suunniteltujen hulevesirakenteiden toimivuutta ja puiston ilmettä, jos vesi ei tule esille suunnitellulla tavalla.

### 3.1.3 Valuma-aluemallinnuksen tulokset

Kalibroinnin jälkeen SWMM-ohjelmalla mallinnettiin mitoitusvirtaamat puiston kolmessa eri kohdassa (Kuva 15) kahden ja sadan vuoden välein tapahtuvilla 60 minuutin sateilla (Taulukko 14). Myös pidempikestoisia sadan vuoden mitoitusasteita kokeiltiin. Tulokset ylivirtaamien osalta eivät kuitenkaan poikenneet merkittävästi 60 minuutin sateista, sillä nykyinen hulevesiverkoston kapasiteetti ei fysikaalisten ominaisuuksien vuoksi riitä välittämään muodostuvia hulevesiä puistoon.

Tiivistyvän maankäytön vaikutusta ylivirtaamiin tutkittiin huomioimalla kaavarungon perusteella määritetyt osavaluma-alueiden uudet läpäisemättömän pinta-alan osuudet (Kuva 16b). Verrattuna nykytilanteeseen koko valuma-alueen läpäisemättömän pinta-alan osuus kasvoi noin kymmenellä prosenttiyksiköllä. Suunnittelun ja mitoituksen kannalta maankäytön muutoksella ei kuitenkaan ollut suurta vaikutusta puistoon tuleviin ylivirtaamiin (Taulukko 15). Jos valuma-alueella pyritään jossain määrin hallitsemaan hulevesiä, maankäytön muutokset kumoavat toisensa. Tästä syystä valuma-alueen maankäytön muutosta vastaavat virtaamalaskelmat jätettiin pois jatkotarkasteluista.

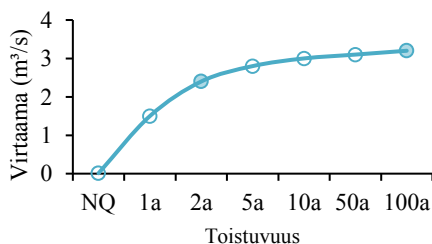
**Taulukko 14. Mallinnetut ylivirtaamat puistossa nykyisellä maankäytöllä.**

Nykytilanne	Rälssipuistossa (m <sup>3</sup> /s)	Rälssitien ja Pytinojan risteyksen välillä (m <sup>3</sup> /s)	Pytinojan risteyksen jälkeen (m <sup>3</sup> /s)
1/2a mitoitus	1,26	1,39	2,41
1/100a mitoitus	1,76	1,78	3,23

**Taulukko 15. Mallinnetut ylivirtaamat puistossa kaavarunkoon perustuvalla maankäytöllä.**

Maankäytön muutoksilla	Rälssipuistossa (m <sup>3</sup> /s)	Rälssitien ja Pytinojan risteyksen välillä (m <sup>3</sup> /s)	Pytinojan risteyksen jälkeen (m <sup>3</sup> /s)
1/2a mitoitus	1,3	1,64	2,57
1/100a mitoitus	1,86	1,91	3,6

Virtausreitin hyvän välityskyvyn vuoksi ylivirtaamat puistossa kasvavat kuvassa 19 nopeasti keskivirtaamasta kahden vuoden toistuvuutta vastaavaan arvoon sekä nousevat tasolle 3 m<sup>3</sup>/s jo noin 10-50 vuoden mitoitusasteilla. Usein toistuvien ylivirtaamien nopea kasvu puistossa jo 1-2 vuoden mitoitusasteilla on hulevesipuiston edellytyksenä, jotta muun muassa vesielementtiä pystytään korostamaan.

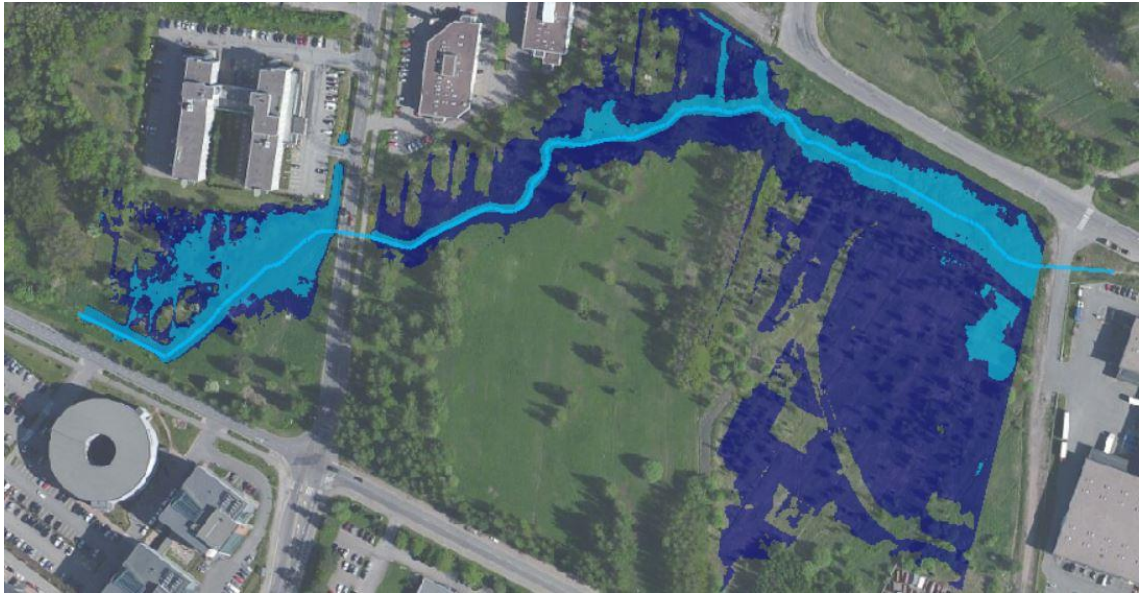


**Kuva 19. Ylivirtaaman kehitys eri sadetapahtumien toistuvuuksilla. Täytetyt pisteet kuvaavat mallinnettuja virtaamia ja tyhjät pisteet arvioituja virtaamia. NQ (normal discharge) on mitattu uoman keskivirtaama 10 l/s.**



### 3.1.4 Tulvamallinnuksen tulokset

Nykyisen puiston HEC-RAS-mallinnuksen perusteella Palo-oja oletettavasti tulvii jo kerran kahdessa vuodessa toistuvalla mitoitussateella (Kuva 20). Veden nouseminen uoman penkkojen yli jo pienillä sadetapahtumilla osoittaa, että puistoissa on tarvetta hulevesien määrälliselle hallinnalle. Asuinkortteleiden sijoittaminen puiston ympärille vaatii, että Palo-ojan tulviminen on hallittua eikä vedenpinta nouse kortteleiden tasolle. Nykytilassa tulviminen ei sinänsä haittaa, sillä puistot ovat tasaista niittyä eikä niillä ole merkittäviä virkistysellisiä toimintoja.



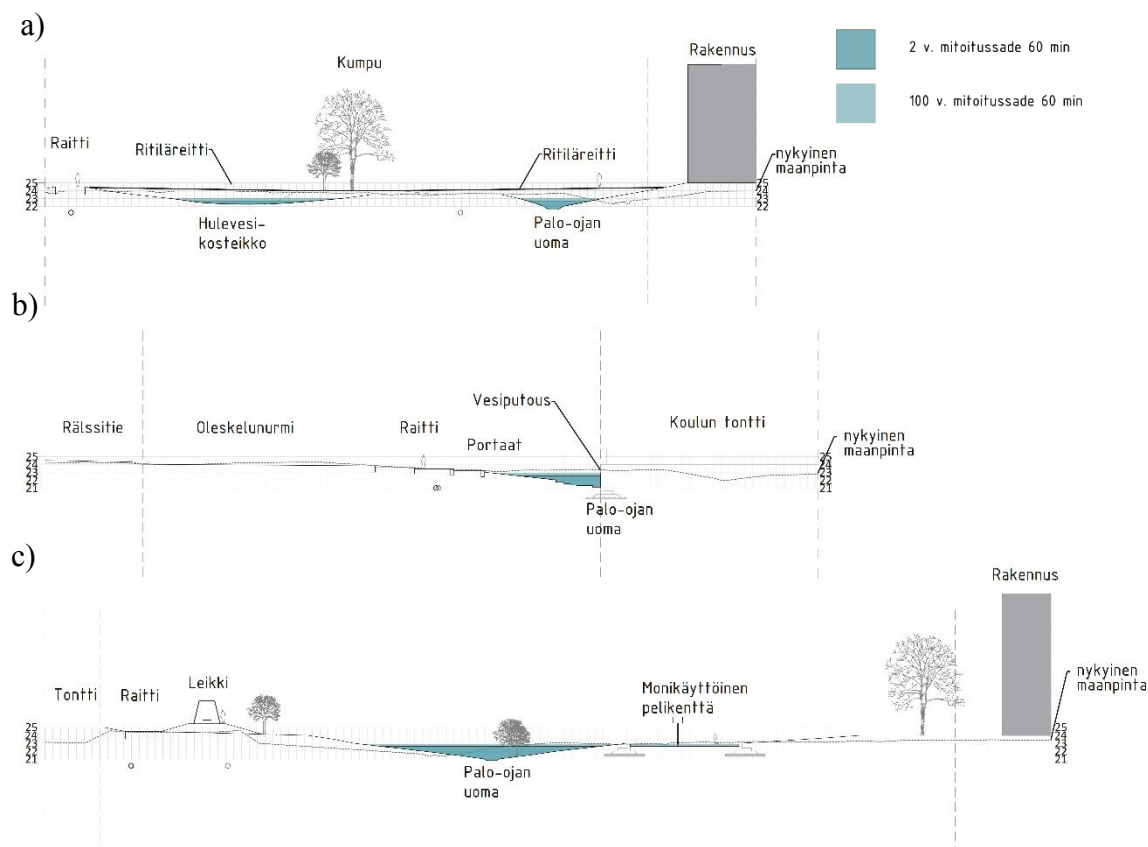
Kuva 20. Rälssi- ja Manttaalipuiston nykyinen tulvatilanne. Vaalean sininen alue kuvaa kahden vuoden ja tumman sininen sadan vuoden mitoitussateen tulvatilannetta.

HEC-RAS-mallinnuksen perusteella suunnitellussa puistossa tulviminen on hallitumpaa molemmissa mitoitustilanteissa (Kuva 21). Uoman levantämisen ja loiventamisen ansiosta vesi pysyy puistoissa kauttaaltaan alueilla, joille se saa nousta. Lisäksi mallinnuksella oli tärkeää osoittaa, että vesi nousee suunnitellulla tavalla monikäyttöisille hulevesien hallinnan alueille vähintään kerran kahdessa vuodessa.



Kuva 21. Rälssi- ja Manttaalipuiston tulvatilanne rakennetussa tilassa kahden ja sadan vuoden mitoitussateilla.

Kuva 22 havainnollistaa monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden täyttymistä eri mitoitusasteilla. Vedenpinta nousi halutusti Rälssipuistossa joka toinen vuosi toistuvan mitoitusadetahtuman tilanteessa hulevesikosteikolle ja suodattavan padon yli (a). Koko tulvaniityn poikki rakennettujen ritiläpolkujen tasolle vesi ei kuitenkaan noussut. Manttaalipuistossa vedenpinta nousi oleskeluportaiden kohdalla ylimmän portaan tasolle kapenevan uoman ja padottavan kynnyksen ansiosta (b). Manttaalipuiston oleskeluportaiden tarkoituksena on, että alueen asukkaat voivat seurata vedenpinnan vaihteluita sen mukaan, kuinka monta porrasta on veden pinnan alla. Manttaalipuiston päässä sijaitsevalle rullalauta- ja koripallokentälle vesi nousi joka toinen vuosi toistuvalla sadetahtumalla (c).



Kuva 22. Monikäyttöisten alueiden tulvatilanteiden poikkileikkaukset, Rälssipuiston maisemallinen tulvaniitty (a), Manttaalipuiston hulevesiportaat (b), Manttaalipuiston monikäyttöinen pelikenttä (c).

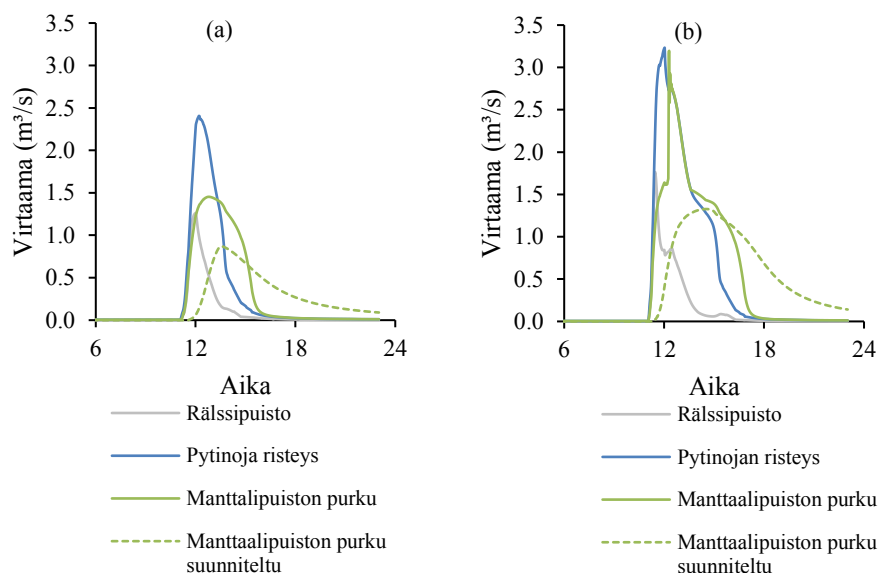
### 3.1.5 Hulevesien viivyttäminen puistoissa

Nykyisen ja suunnitellun puiston pinta-alat ja tulvatilavuudet laskettiin AutoCAD-ohjelmalla puistojen pintamalleista (Taulukko 16). Vaikka suunnitellun puiston pinta-ala pienentyi suunnitteluprosessin aikana huomattavasti nykyisestä (41 %), tulvatilavuus puistossa kasvoi 72 % monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden, syvänteiden ja uoman loivennusten avulla.

Taulukko 16. Nykyisten ja suunniteltujen puistojen tulvatilavuudet sekä pinta-alat.

	Tulvatilavuus (m <sup>3</sup> )		Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	
	Suunniteltu puisto	Nykyinen puisto	Suunniteltu puisto	Nykyinen puisto
Rälssipuisto	5 600	1 600	9 300	13 000
Manttaalipuisto	19 000	5 100	23 000	42 000
Yhteensä	24 600	6 700	32 300	55 000

Ennen kummankin puiston purkupaikkaa rakennetaan viivyttävät padot, joiden avulla vedenpintaa saadaan nostettua ja vesi siten ohjattua monikäyttöisille alueille jo pienemmillä sateilla. Samalla saadaan pienennettyä virtaamahuippuja ja vähennettyä Kirkonkylänojaan kohdistuvia hulevesimääriä. Lisäksi vedenpinnan noustessa vesi tulee uomassa useammin esille. Kuvassa 23 on esitetty mitoituslaitteissa puistoon tulevat virtaamat (Taulukko 14) ja Manttaalipuiston purkupisteen virtaama nykytilassa sekä monikäyttöisten alueiden ja viivyttävien patojen rakentamisen jälkeen.



**Kuva 23. Virtaamat kahden vuoden (a) ja sadan vuoden (b) mitoituslaitteilla Manttaalipuiston nyky- ja suunnittelutilanteissa. Lisäksi kuvaajissa on esitetty nykyiseen puistoon tulevat virtaamat Rälssipuistossa ja Manttaalipuistossa Pytinojan risteyskysen jälkeen.**

Kuvan 23 perusteella voidaan nähdä, kuinka ylivirtaamat pienenevät, kun puistoihin lisättiin viivytyksrakenteita. Kahden vuoden mitoituslaitteilla ylivirtaama laski 40 % ja sadan vuoden mitoituksella 58 %. Suunnittelussa puistossa puron virtaamat muuttuvat luonnollisempaan suuntaan ja valuntakäyrän äärevöityminen vähenee eli ylivirtaamat pienenevät ja valunta viivästyy. Muutos on merkittävä, kun huomioidaan valuma-alueen koko ja läpäisemättömän pinta-alan suuri osuus. Kun puisto toimii viivyttävänä rakenteena, puistossa virtaamat pysyvät korkeampina valuntakäyrän loppuvaiheessa verrattuna nykytilanteeseen. Kuvan 23 tuloksissa voidaan huomata myös, että SWMM-mallinnukset eivät usein huomioi verkostoon pohjavaluntana tulevan valunnan määrää (esim. Guan et al., 2015b). Tämä kannattaa huomioida, kun tarkastellaan valuntamuutoksia puistosta alavirran suuntaan etenkin, jos tulevaisuudessa maankäytön muutokset lisäävät valuma-alueella muodostuvaa valuntaa entisestään.

SWMM-mallin avulla laskettiin pidätetyt vesimäärät kummassakin puistossa. Kahden vuoden mitoituslaitteilla puistoissa varastoituneen veden määrä on yhteensä 10 200 m³ (puiston kokonaistilavuudesta 40 %) ja sadan vuoden mitoituksella 14 300 m³ (puiston kokonaistilavuudesta 60 %). Verrattuna puistojen kokonaistilavuuteen (Taulukko 16) puiston kapasiteetti riittää hallitsemaan suurempiakin vesimääriä. Tämä on tärkeää, sillä ilmastomuutoksen, valuma-alueen maankäytön ja hulevesiverkoston muutosten myötä puistoon tulevat virtaamat voivat kasvaa.

### 3.1.6 Mallinnuksen epävarmuustekijät

Mallintamalla saatuihin virtaamiin ja vedenpinnankorkeuksiin vaikuttaa käytettävän lähtöaineiston tarkkuus. Aineistollisia epävarmuuksia liittyy esimerkiksi maankäyttöön, parametrisointiin, sadetietoon ja pintamalleihin. Valuma-aluejako tehtiin työssä melko karkeasti valuma-alueen suuren koon vuoksi ja SWMM-mallinnuksessa käytettiin 2012 tehtyä verkostomallia, johon on tullut muun muassa avouomien suhteen muutoksia. Kokonaisuudessaan hulevesiverkon muutosten määrä suhteutettuna valuma-alueen kokoon on sen verran pieni, että sillä ei oletettu olevan suurta vaikutusta mallinnustuloksiin. Lisäksi MIKE-Urban-ohjelmalla mallinnettujen Finavian alueiden virtaamatiedot voivat heikentää SWMM-mallinnuksen tuloksia.

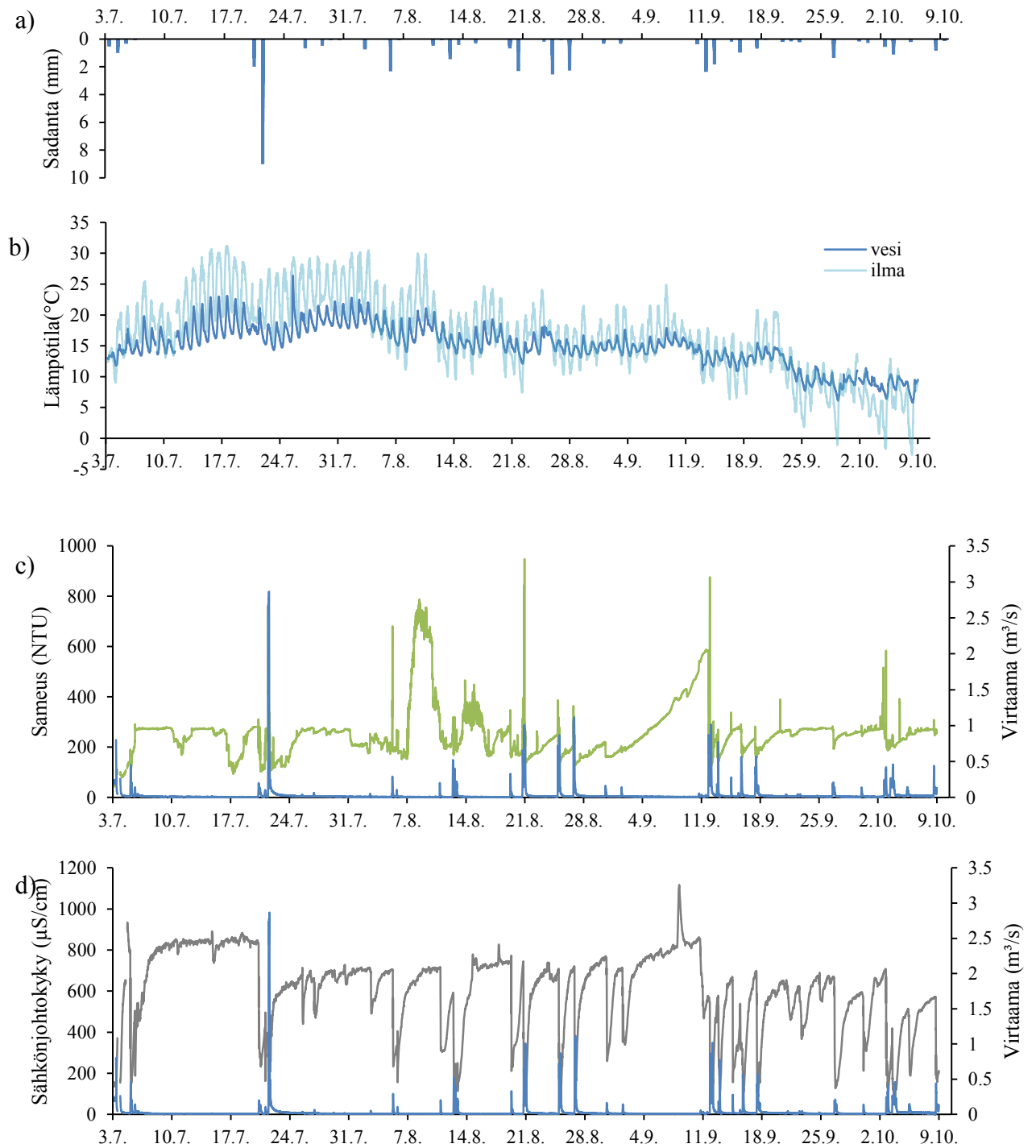
Kalibrointi suoritettiin vain muutamalle jatkuvatoimisesti mitatulle valuntatapahtumalle, joissa virtaamapiikit olivat pieniä. Myös jatkuviin vedenpinnan korkeuden mittauksiin liittyy epävarmuuksia. Mittausten aikana tapahtui esimerkiksi muutamia häiriöitä mittausten tiedonsiirrossa, mitä jouduttiin jälkikäteen laskennallisesti korjaamaan. Kalibroidun mallin testaaminen validointivaluntatapahtumilla vahvisti kuitenkin mallin oikeellisuutta. Malli vastasi melko hyvin validointitapahtumien virtaamia selitysasteen osalta, mutta muiden hyvyyslukujen perusteella mallin vastaavuus oli melko heikko (Kappale 3.1.2). Heikko vastaavuus lisää mallinnettujen puistoon tulevien virtaamien epävarmuutta.

HEC-RAS-mallinnuksen tuloksiin vaikutti eniten lähtötietona käytettävät SWMM-mallinnetut virtaamat. Lisäksi mallinnustuloksiin vaikutti reunaehtojen määrittely ja rumpujen parametrisointi. Mallinnettujen vedenpinnankorkeuksien epävarmuutta lisäsi myös se, että HEC-RAS-mallia ei kalibroitu.

## 3.2 Hulevesien laadullisen hallinnan tulokset

### 3.2.1 Automaattimittaukset

Kesän ja syksyn 2018 aikana toteutettujen jatkuvatoimisten mittausten avulla tutkittiin vedenlaatua Palo-ojassa. Suuren valuma-alueen ja tehokkaan hulevesien johtamisen vuoksi virtaamavaihtelut olivat puistossa suuria ja muutokset tapahtuivat nopeasti, minkä vuoksi myös vedenlaadun vaihtelut olivat nopeita. Valuma-alueen virtausreittien nopeasta johtokyvystä kertoo se, että virtaaman havaittiin nousevan puistossa alle tunnissa sateen alkamisesta. Kuvassa 24 on esitetty jatkuvatoimisten mittausten aikainen sameus, sähkönjohtokyky, lämpötila, virtaama ja sadanta. Kokonaissademäärä mittausjaksolla oli 205 millimetriä ja veden keskilämpötila oli 15 astetta.



**Kuva 24. Sadanta (a), ilman ja veden lämpötila (b), sameus (c) ja sähkönjohtokyky (d) jatkuvatoimisten mittausten aikana 3.7-9.10.2018.**

Sähkönjohtavuus vaihteli mittausten aikana 41-1117  $\mu\text{S}/\text{cm}$  välillä. Kuivilla ajanjaksoilla sähkönjohtavuus nousi noin 700-800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mutta laski nopeasti sateiden jälkeen ojaveden laimenemisen seurauksena. Keskimääräinen sähkönjohtavuus oli 604  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , joka oli suurempi kuin syys-joulukuussa 2011 mitattu keskiarvo 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Valkama et al., 2013). Vuoden 2011 Kirkonkylänojan tutkimuksen sähkönjohtavuuden huippuarvot olivat kuitenkin suurempia. Nämä havaittiin pienten virtaamapiikkien aikana, jolloin tiesuolan epäillä huuhtoutuneen ojaan.

Sameus vaihteli myös virtaaman mukaan 43-948 NTU välillä. Korkeimmat sameuden arvot ajoittuivat mittausjakson aikaisten virtaamapiikkien kohdille, mutta sameuden havaittiin kasvavan myös sadetapahtumien välillä. Sameuden keskiarvo oli 254 NTU.

### 3.2.2 Näytetulokset

Taulukossa 17 on esitetty laatu näytteiden tulokset ja verrattu niitä hulevesien laadun raja-arvoihin (Alm et al., 2010; EPA of Ireland, 2012; Inha et al., 2013). Huleveden laadun raja-arvo on esitetty vaihteluvälinä, koska se riippuu vastaanottavan vesistön tyypistä. Alempaa raja-arvoa käytetään, jos hulevedet johdetaan pienvesistöön ja ylempää, kun ne johdetaan suurempaan järveen tai mereen. Tässä tapauksessa laatu näytteet otettiin kaupunkipurosta, jossa hulevesien ajatellaan jossain määrin olevan laimentuneita ja vedenlaadun tulisi olla parempi kuin hulevesien.

Taulukossa 17 olevat metallit ovat liukoissa muodossa ja raja-arvot kokonaispitoisuuksia, eli mitatut metallipitoisuudet käsittävät vain osan purossa kulkeutuvien metallien kokonaismäärästä. Sinkkiä ja kuparia koskevien tulosten avulla arvioitiin metallien liukoinen osuus kokonaispitoisuudesta. Molempien metallien liukoinen pitoisuus oli noin 50 %.

**Taulukko 17. Laatu näytteiden tulokset sekä hulevesien laadulliset ja biologisen haitan raja-arvot. Tulokset, jotka ylittävät hulevesien laadun raja-arvon, on tummennettu.**

	Yksikkö	Laadun raja-arvo	Min.	Ka.	Max.	Biologinen haitta*	Hulevesien laadun raja-arvon lähde
<b>pH</b>	-	6-9	7,06	7,3	7,86		EPA of Ireland (2012)
<b>Sähkönjohtavuus</b>	mS/m	2,6-97	<b>2,23</b>	<b>15,4</b>	<b>44</b>		Inha et al. (2013)
<b>Kiintoaines</b>	mg/l	50-175	5,07	<b>64,7</b>	<b>218,6</b>		EPA of Ireland (2012)
<b>Kokonaistyyppi</b>	mg/l	2,0-3,0	0,791	<b>1,59</b>	<b>2,48</b>		Alm et al. (2010)
<b>Kokonaisfosfori</b>	mg/l	0,16-0,25	0,014	0,06	<b>0,113</b>		Alm et al. (2010)
<b>Orgaaninen hiili (TOC)</b>	mgC/l	30-40	5,29	7,4	13,79		EPA of Ireland (2012)
<b>Mineraaliöljy**</b>	mg/l	0,4-0,7	0,0091	0,038	0,02		Alm et al. (2010)
<b>Cd</b>	µg/l	0,4-0,5	0,021	0,051	0,12	Keskikorkea (0,1-0,3)	Alm et al. (2010)
<b>Cr</b>	µg/l	10-25	0,7	1,1	1,9	Matala (0,3-5)	Alm et al. (2010)
<b>Cu (54 % kok.)</b>	µg/l	18-40	4,7	<b>11,6</b>	<b>25</b>	Korkea (9-45)	Alm et al. (2010)
<b>Ni</b>	µg/l	15-30	1,1	2,4	4,5	Matala (0,7-15)	Alm et al. (2010)
<b>Zn (51 % kok.)</b>	µg/l	75-125	1,8	28,6	<b>78</b>	Korkea (60-300)	Alm et al. (2010)
<b>Pb</b>	µg/l	8-15	0,17	0,18	0,195	Hyvin matala (<0,02)	Alm et al. (2010)

\*Verrattu mittausten maksimiarvoihin (Ruotsin ympäristönsuojeluvirasto, 2000)

\*\*Mitattu vain näytteille 5-7

Vedenlaatumittauksien avulla tutkittiin taimenten elinolosuhteita purossa. Taimenten esiintyvyyteen kaupunkipuroissa vaikuttaa muun muassa valuma-alueelta hulevesien mukana huuhtoutuneiden haitta-aineiden ja ravinteiden määrät. Taimen tarvitsee yleisesti runsashappista, puhdasta ja viileää vettä (Ollikainen, 2015). Lisäksi lisääntymisen uhkana ovat nousuesteet ja puron pohjalle kertynyt kiintoaines, joka heikentää mädin selviytymistä. Taimenille metalleista koituvaa haittaa on arvioitu Ruotsin ympäristönsuojeluviraston (2000) asettamilla biologisen haitan raja-arvoilla, jotka ovat esitetty taulukossa 17.



Metalleista taimenille voi koitua eniten haittaa kuparista ja sinkistä, joiden jo liukoiset pitoisuudet olivat biologisen haitan asteikolla korkeita. Ruotsin ympäristönsuojeluviraston (2000) mukaan keskikorkeista metallipitoisuuksista on haittaa enimmäkseen pieneliöstölle, kuten kalojen poikasille. Matalien pitoisuuksien haitat tulevat esille vasta pitkäaikaisesta altistumisesta, kun taas korkeista pitoisuuksista aiheutuu biologisesti akuutteja vaikutuksia eliöstöön. Mittausten perusteella heikentynyt vedenlaatu voi selittää Kirkonkylänojan vähäistä pohjaeliöstöä ja kalaston esiintymättömyyttä (Vantaan kaupunki, 2009b).

Valtasen (2015) mukaan tiiviisti rakennetun valuma-alueen vaikutukset heijastuvat eniten kiintoaineeseen, fosforin ja metallien pitoisuuksiin. Kiintoaineeseen, kuparin ja sinkin pitoisuudet olivat Valtasen (2015) tulosten kanssa linjassa, sillä ne ylittivät hulevesien laadun raja-arvot. Kupari ja sinkki ovat tyypillisiä rakennettujen alueiden hulevesissä, sillä niiden lähteitä ovat muun muassa rakennusmateriaalit, kupariset katot ja galvanoidut pellit (Kuusisto-Hjort, 2009). Sinkkiä voi lisäksi irrota katujen päällysteistä kulumisen seurauksena.

Alueella tehdään myös paljon rakennustöitä, joiden aikaisia kuivatusvesiä ja muita rakennusvesiä on johdettu puistoon johtaviin vesistöihin. Rakentamistöiden aikaiset valumavedet vaikuttavat ainakin hetkellisesti puiston vedenlaatuun.

### 3.2.3 Korrelaatiot mitattujen muuttujien välillä

Spearmanin korrelaatioanalyysin perusteella määritettiin muuttujat, joiden välillä on tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta. Korrelaatioiden avulla selvitettiin indikaattorimuuttujia, joita voitaisiin käyttää muiden haitta-aineiden esiintymisen ennustamiseen ja hyödyntää puistoon sijoitettavassa reaaliaikaisessa mittauksessa. Korrelaatioanalyysi tehtiin liukoille metallipitoisuuksille, koska niiden aineisto oli kattavampi kuin kokonaismetallipitoisuuksien. Neljännen näytteen (Taulukko 2) tuloksia ei huomioitu korrelaatioanalyysissä, koska niiden huomattiin määrittelevän analyysintuloksia ollessaan huomattavasti korkeampia verrattuna muihin näytetuloksiin. Taulukkoon 18 on koottu kiintoaineen, sameuden ja sähkönjohtavuuden vahvimmin korreloivien muuttujien väliset korrelaatiokertoimet, joilla merkitsevyystaso on vähintään 5 %. Kaikkien muiden analysoitujen muuttujien väliset korrelaatiot on esitetty liitteessä 1.

**Taulukko 18. Korrelaatioanalyysin tulokset kiintoaineen, sameuden ja sähkönjohtavuuden suhteen.**

	Kokonais- fosfori	TOC	Mn	Ni	Fe	Zn	V	As	Sameus	Kiinto- aines
<b>Kiintoaines</b>	0,952**		-0,714*	-0,786*	-0,755*	0,903**	-0,714*	-0,719*	0,900*	
<b>Sameus</b>		0,900*								0,900*
<b>Sähkön- johtavuus</b>						0,708*	-0,881**			

\*p-arvon ollessa alle 5%

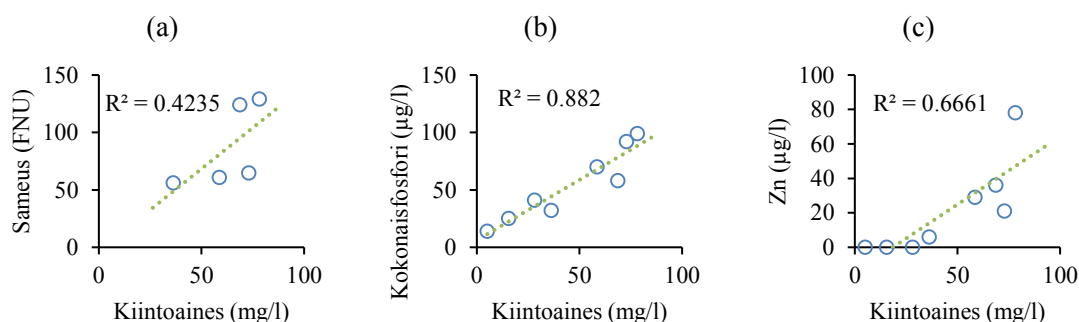
\*\*p-arvon ollessa alle 1%

Eniten merkitseviä korrelaatioita mitatuista muuttujista esiintyi kiintoaineen kanssa (Taulukko 18). Spearmanin korrelaatiokertoimien perusteella kiintoaineen kanssa korreloi useampi raskasmetalli, kokonaisfosfori ja sameus. Sameuden ja kiintoaineen välinen Spearmanin korrelaatiokerroin osoittaa, että sameutta voitaisiin käyttää indikaattorimuuttujana kiintoaineelle. Kuvan 25a regressionsuora kuitenkin osoittaa, että näiden välillä ei ole selkeää yhteyttä ( $R^2 < 0.8$ ). Spearmannin korrelaatiokertoimen lisäksi selitysasteen ( $R^2 > 0.8$ ) mukaan fosfori korreloi hyvin kiintoaineen kanssa (Kuva 25b).

Assmuth (2017) havaitsi saman ilmiön tutkimissaan hulevesien laatua Vantaan Tikkurilassa. Riippuvuutta selittää fosforin kiinnittyminen maapartikkeleihin ja se, että vain osa fosforista on liukoissa muodossa (Valtanen et al., 2010).

Sinkin ja kiintoaineen välinen yhteys ei myöskään ollut selkeä, vaikka Spearmanin korrelaatiokerroin osoitti toisin (Kuva 25c). Selkeämmän riippuvuuden osoittaminen edellyttäisi suuremman näytemäärän keräämistä, sillä kiintoaineen pitoisuusvaihtelu hulevesissä on hyvin suurta (Järveläinen et al., 2017). Lisäksi selkeämpien kiintoaineen ja metallien välisten yhteyksien osoittamiseksi korrelaatioanalyysissä olisi ollut tärkeää olla käytettävissä kokonaismetallipitoisuudet, sillä osa metalleista on sitoutuneena kiintoaineeseen. Esimerkiksi sinkin ja kuparin metallien liukoinen pitoisuus oli vain noin 50 % kokonaismetallipitoisuudesta (Taulukko 17).

Sähkönjohtuvuudelle ainoat merkitsevät korrelaatiot saatiin sinkin ja vanadiinin välille. Näiden korrelaatiokertoimet olivat huonommat kuin kiintoaineen välillä (Taulukko 18). Negatiiviset korrelaatiokertoimet viittaavat maaperästä tuleviin metalleihin. Kiintoaineen lisääntyessä virtaama yleensä kasvaa, jolloin luonnostaan veteen tulevat metallipitoisuudet laskevat.



**Kuva 25. Kiintoaineen ja sameuden (a), sinkin (b) sekä kokonaisfosforin (c) välinen yhteys. Kuvaajissa on myös esitetty lineaarinen selitysviiva ja sen selitysaste  $R^2$ .**

Hulevesien laadun parantamiseksi Palo-ojassa Rälssipuiston hulevesialtaaseen sijoitetaan suodattava pato. Sen tarkoituksena on pidättää vettä kosteikkoalueella ja purkautuessaan suodattaa kiintoainesta hulevesistä. Kiintoaineen hyvä korrelointi koholla olevien hulevesien haitta-aineiden kanssa (sinki ja fosfori) osoittaa, että kiintoaineen pidätyksessä suodattavaan patoon hulevesien laatua saadaan parannettua näiden osalta. Tätä havaintoa tukee Kaczala et al. (2012) tulokset, joiden mukaan kiintoaineen vähentämiseen suunniteltu hulevesirakenne vähentää samalla haitallisten metallien määrää.

Tulosten perusteella kiintoaineen mittaaminen reaaliaikaisesti kertoisi parhaiten hulevesien laadusta, koska se korreloi useamman metallin kanssa. Kiintoaineen määrää ei kuitenkaan pystytä jatkuvatoimisesti mittaamaan, joten olisi tärkeää saada muodostettua vahvempi yhteys sameuden ja kiintoaineen välille. Näin sameuden reaaliaikaisella mittauksella voidaan saada kiintoaineen korrelaatioiden kautta tietoa puroveden haitta-aineiden pitoisuuksista. Korrelaatioiden kattavampaa määrittelyä varten vedenlaadun mittauksia tulisi tehdä lisää, sillä tässä työssä laatu näytteiden määrä oli pieni ja suuremmista sadetapahtumista ei ollut lainkaan näytteitä (Järveläinen, 2014). Lisäksi huomioitavaa on, että mitattavien muuttujien ja haitta-aineiden korrelaatiot voivat muuttua alueen maankäytön kehittyessä. Hulevesien laadussa kylmissä ilmasto-

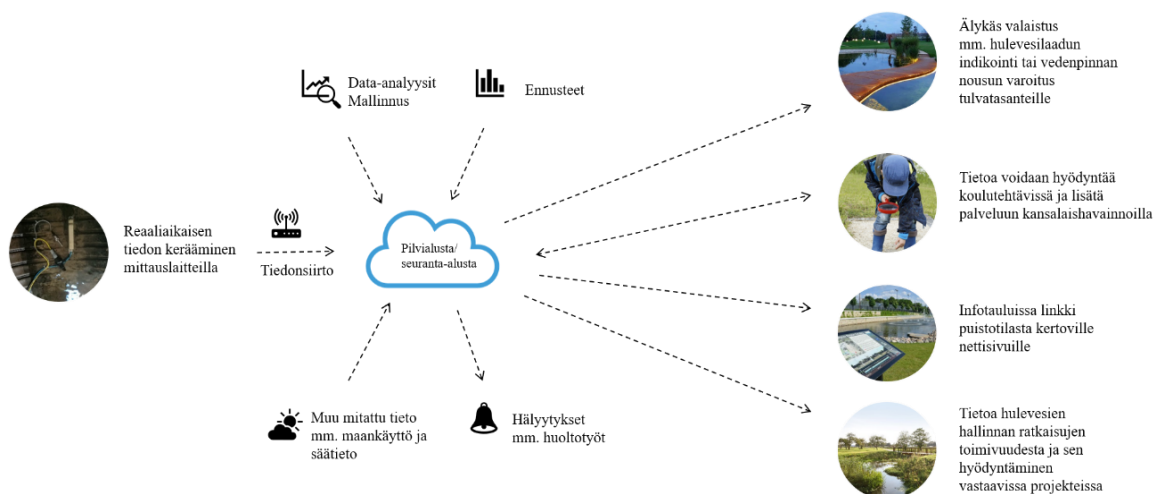


olosuhteissa on havaittu suurta vuodenaikaisvaihtelua (Sillanpää, 2013), joka voi myös vaikuttaa laatumuuttujien välisiin korrelaatioihin.

Laatunäytteiden ottoon ja analysointiin liittyi myös epävarmuuksia. Esimerkiksi useampi henkilö kävi ottamassa näytteitä uomasta, jolloin niiden ottosyvyydessä tai -paikassa oli jonkinasteista vaihtelua. Sadetapahtumat olivat lisäksi pieniä, jolloin näytteidenottohetkien vedenkorkeuksissa ei ollut suurta vaihtelua. Näytteiden analysointi tehtiin keskitetysti vasta, kun kaikki näytteet syksyn aikana oli otettu. Tämä tarkoittaa, että osa näytteistä oli ollut varastoituna useampia viikkoja. Lisäksi laboratorioanalyysseihin liittyy epävarmuuksia, jotka on taulukoitu kappaleessa 2.3. Kaikkien laatunäytteiden epävarmuustekijät heijastuvat korrelaatioanalyysin tuloksiin, mikä pitää ottaa huomioon niiden tarkastelussa.

### 3.3 Hulevesien hallintaan ja tietoon liittyvä vuorovaikutus

Kappaleissa 3.1 ja 3.2 mainitut mallinnus- ja mittaustulokset antavat vain hetkellisen kuvan kaupunkivesistöjen tilasta. Kun mittauksista tehdään jatkuvia ja reaaliaikaisia, voidaan tietoa alkaa hyödyntää monipuolisemmin myös hulevesistä viestittäessä. Mantaali- ja Rälssipuistoista on tarkoitus alkaa kerätä reaaliaikaista hulevesitietoa, jonka avulla pyritään muun muassa herättämään alueen ihmisten mielenkiintoa kaupunkivesiä kohtaan. Tiedon kokoamiseen ja hyödyntämiseen on kehitetty järjestelmiä (esim. Kahiluoto et al., 2018; Wright & Marchese, 2018) ja vuorovaikutteisia työkaluja (esim. Dickson et al., 2011), joita voidaan soveltaa Mantaali- ja Rälssipuistojen purovedestä kerätyn määrällisen ja laadullisen tiedon hyödyntämiseen (Kuva 26). Järjestelmän keskiössä on pilvialusta, jonne voi etäluetun reaaliaikaiseen tiedon lisäksi kerätä aineistoja muista eri tietolähteistä. Kerätyn aineiston pohjalta järjestelmä tekee automaattisia analyysejä, mallinnuksia ja ennustuksia, joita voidaan hyödyntää puistoissa eri tavoin.



**Kuva 26. Tiedon hyödyntämisen mahdollisuuksia Rälssi- ja Mantaalipuistossa (muokattu lähteestä Kahiluoto et al., 2018).**

Pilvialustan kaksisuuntaisen rajapinnan avulla käyttäjillä on mahdollisuus lisätä havaintojaan palveluun ja koululaisten täydentää tietoa esimerkiksi ottamiensa vedenlaadun ja vedenkorkeuden mittaustuloksilla. Kansalaishavainnot ovat tärkeitä, koska niiden avulla voidaan muun muassa täydentää mittauksia sekä kalibroida ja varmentaa mallien laskelmia (Suomen ympäristökeskus, 2018b). Alustassa tulisi

panostaa visualisuuteen ja helppokäyttöisyyteen, jotta se palvelisi monia eri käyttäjiä, esimerkiksi koululaisia, jotka voisivat käyttää seuranta-alustan tietoja koulutöissään. Anttila ja Pyhälä (2018) havaitsivatkin, että yhä enemmän palvelun käyttäjien rooli korostuu ympäristötiedon alustojen kehittämisessä. Seuranta-alustaan olisi myös linkki puistoon sijoitettavissa hulevesiteemaisissa infotauluissa. Selittävien taulujen avulla voidaan lisätä kansalaisten tietoisuutta hulevesien muodostumisesta ja hallinnasta (National Recreation and Park Association, 2017).

Reaaliaikaista tietoa voidaan hyödyntää myös niin sanotussa älykkäässä valaistuksessa. Perinteisesti älykästä valaistusta käytetään energiatehokkuuden parantamisessa (Castro et al., 2013), mutta tässä tapauksessa älykästä valaistusta käytettäisiin viestimään puroveden tilasta. Esimerkiksi vedenpinnan noususta voidaan varoittaa reaaliaikaisen mittauksen, tulvamallinnuksen (Kappale 3.1.4) ja sääennusteiden yhteisen analyysin pohjalta sekä sameuden mittausten perusteella voidaan laskettujen korrelaatioiden avulla indikoida eri väreillä haitta-aineista purovedessä (Kappale 3.2.3). Lisäksi älykkäällä valaistuksella voidaan luoda puistosta visuaalisesti mielenkiintoinen esimerkiksi korostamalla vesielementtiä puistossa, kun tietty vedenpinnan korkeus on saavutettu. Monikäyttöisellä rullalautailu- ja koripalloalueella valojen kuvioinnilla ja väreillä voidaan viitata puolestaan eri toistuvuudella tapahtuviin tulvatilanteisiin, jotka on määritetty virtaaman ja toistuvuuden yhteyden perusteella (Kuva 19).

Seuranta-alustan avulla voidaan myös tukea alueen hulevesihallintaa. Esimerkiksi Chicagossa sensoreista muodostuva verkosto yhdistettynä tietokonealustaan on luonut tehokkaan työkalun hulevesien hallinnalle ja sen suunnittelulle (Thornton, 2017). Jatkuva toiminta tiedon kerääminen seuranta-alustaan mahdollistaa vedenlaadun seurannan etänä, jolloin on helpompi arvioida myös puiston huoltotöiden ajankohtaa (Wright & Marchese, 2018). Nopea reagoiminen ympäristön tilan muutoksiin parantaa lisäksi hulevesien hallintarakenteiden toimintatehokkuutta ja -varmuutta (Lefkowitz et al., 2016). Usein mittaustulokset ovat lähtökohtana hulevesien hallinnan toimenpiteiden ja rakenteiden suunnittelulle, mutta harvoin toteutettujen kohteiden toimivuutta seurataan. Tiedon kerääminen mahdollistaisi muun muassa puistovesien laadullisen tilan sekä hulevesien hallintakyvyn kehityksen seuraamisen. Erityisesti pilottikohteiden hulevesimittauksista saadaan arvokasta tietoa, jota voidaan hyödyntää muissa vastaavissa projekteissa.

## 4 Johtopäätökset

Tiivistyvän kaupunkirakenteen ja vähenevän viheralan myötä hulevesien hallinta jää usein toissijaiseksi, kun rakennettaviin alueisiin kohdistuu muita toiminnallisia paineita. Varsinkin kaupunkivesien hallintaan ja viheralueisiin liittyvät sosiaaliset hyödyt usein ohitetaan. Hulevesien hallinnalle omistetut alueet eivät kuitenkaan poissulje niitä muilta käyttötarkoituksilta, jos suunnittelussa huomioidaan alueiden monikäyttöisyys. Monikäyttöisillä alueilla saadaan hulevesien hallinnalle valjastetut alueet kaupunkilaisten aktiiviseen käyttöön, jolloin heille pystytään tarjoamaan useampia hyötyjä. Työssä yhdistettiinkin vuorovaikutus monikäyttöisten alueiden suunnitteluun, hydrologiseen mallinnukseen, laadulliseen mittaustietoon ja reaaliaikaisen tiedon hyödyntämiseen.

Työn tarkoituksena oli tutkia hulevesien hallinnan alueiden monikäyttöisyyttä sekä vuorovaikutusmahdollisuuksia puistoympäristössä Manttaali- ja Rälssipuistojen suunnitteluprojektin kautta. Suunnittelukohteiden hulevesien hallinta toteutettiin mahdollisimman monikäyttöisenä. Puistoissa hulevesien monikäyttöisiä hallinta-alueita ovat rullalauta- ja koripallokenttä, hulevesikosteikko ja oleskeluportaikko. Kuivina kausina näillä alueilla on muun muassa virkistyksellisiä, sosiaalisia ja ekologisia toimintoja. Rankkasateilla alueet toimivat tulvatilavuutena, mikä pidättää vettä ja tasaa virtaamahuippuja. Kaupunki-puron ja hulevesien hallinnan esille nostamisen tarkoituksena oli myös ennen kaikkea lisätä puiston käyttäjien tietoisuutta hulevesistä.

Yhtenä työn tavoitteena oli tutkia suunniteltujen monikäyttöisten alueiden täyttymistä eri sadetapahtumilla. Kaksivaiheisen hydrologisen mallinnuksen avulla hulevesien hallinnan monikäyttöiset alueet voitiin suunnitella siten, että vesi tulee varsin usein esille puistoympäristössä. Ensimmäisessä vaiheessa puistoon tulevan hulevesien virtaaman mallinnettiin EPA SWMM -ohjelmalla. Jatkuvatoimisten mittausten avulla malli saatiin kalibroitua, mikä oli tärkeää varsinkin pienempien sateiden ylivirtaamien arvioinnin kannalta. Vaikka puistoissa kulkevan Palo-ojan valuma-alue oli suuri ja lähtöaineisto osin epätarkkaa, kalibroinnin avulla päästiin kiinni todenmukaisempiin ylivirtaamiin kuin käyttämällä kalibroimatonta mallia.

Mallinnuksen ensimmäisen vaiheen tulokset toimivat lähtötietoina toisessa vaiheessa puistoalueen purouoman HEC-RAS-mallinnukselle, jonka avulla selvitettiin monikäyttöisten hulevesien hallinnan alueiden täyttymistä erilaisissa mitoitussadetilanteissa. Purouoman mallinnuksen avulla pystyttiin suunnittelemaan monikäyttöiset hulevesien hallinnan alueet ja pidättävät rakenteet siten, että ne pidättävät vettä mahdollisimman usein, mutta pystyvät kuitenkin hallitsemaan hulevesiä myös ääritilanteissa.

Toisena tavoitteena oli tutkia Palo-ojan vedenlaatua kirjallisuuden raja-arvojen perusteella. Nykytilaisessa Manttaalipuistossa Palo-ojan vedenlaatu ylittää useita kaupunkialueille tyypillisiä haitta-aineiden hulevedenlaadun raja-arvoja. Lisäksi työssä arvioitiin hulevesissä esiintyvistä metalleista koituvaa haittaa taimenille, joiden kanta on tarkoitus ennallistaa Manttaalipuistossa. Mittaustulosten perusteella sinkin ja kuparin pitoisuudet olivat korkeita, mistä voi seurata akuuttia haittaa taimenille. Tärkeää olisi alueen kaupunkirakenteen yhä jatkuvan tiivistymisen myötä estää vedenlaadun heikkeneminen ja yrittää parantaa sitä, jotta kaupunkivesien virkistyskäyttöä saataisiin parannettua ja taimenkantaa mahdollisesti ennallistettua.

Työssä tarkasteltiin lisäksi laatumittausten perusteella, mitä mitattavia muuttujia voitaisiin hyödyntää reaaliaikaisessa mittauksessa korrelaatioanalyysin perusteella. Tärkein laadullinen mitattava muuttuja oli tulosten mukaan sameus, jonka avulla saadaan tietoa muiden haitta-aineiden määrästä vedessä. Kuitenkin hulevesien laadun muuttujien väliset korrelaatiot riippuvat erilaisista tekijöistä, kuten vallitsevista virtausolosuhteista, valuma-alueen maankäytöstä ja mittausten aikaisista sadetapahtumista. Tämän vuoksi indikaattorimuuttujien väliset korrelaatiot tulisi muodostaa laatumittausten perusteella, siten että mittaukset on otettu pitkältä aikaväliltä ja valuma-alueen maankäytön muokkausten jälkeen.

Työn kolmantena tavoitteena oli tutkia vuorovaikutuksen keinoja hyödyntämällä määrällistä ja laadullista reaaliaikaista tietoa puistoympäristössä. Mitattua tietoa hyödyntämällä saadaan muun muassa tuotettua tietolähtöisiä palveluita, joiden avulla mahdollistetaan vuorovaikutus puisto ympäristön ja eri käyttäjäryhmien välillä. Palvelu voi pohjautua esimerkiksi pilvialustaan, jossa tietoa voi kerätä, yhdistää, analysoida sekä jakaa eri sovelluksien käytettäväksi. Tietoa voidaan myös hyödyntää esimerkiksi opetuksessa ja älykkäässä valaistuksessa, jonka avulla voidaan indikoida muuttuvia puron olosuhteita sekä parantaa kaupunkivesien virkistysarvoa. Hulevesistä kerätään yleensä jatkuvatoimista tietoa vain lyhyeltä ajalta ja ennen hulevesirakenteiden rakentamista. Reaaliaikaisten mittausten avulla saataisiin tietoa hulevesien määrällisestä ja laadullisesta hallinnasta, mitä voitaisiin hyödyntää muissa vastaavissa projekteissa. Varsinkin pilottikohteissa mittaaminen olisi tärkeää, jotta hulevesisuunnittelua kehitetään oikeaan suuntaan.

Vaikka monikäyttöisten hulevesien hallinnan kohteiden suunnittelun haasteena on niiden kokonaisvaltaisuus ja yksilöllisyys, kohteet voivat olla ratkaisu luonnonmukaisemman hulevesisuunnittelun toteutumiselle tiiviillä kaupunkialueilla. Monien toimintojen tuottaminen yhteen tilaan vaatii monitahoista yhteistyötä sekä eri alojen rinnakkaista suunnittelua. Lisäksi suunnitteluprosessissa tulisi myös kuunnella alueen asukkaiden ja muiden toimijoiden tarpeita. Yhteistyön tarkoituksena on puiston suunnittelussa löytää synergioita toimintojen välille, jolloin toiminnot voidaan toteuttaa niin, että ne myös tukevat toisiaan.

Monikäyttöisiä hulevesien hallinnan alueita ei ole aiemmin tutkittu Suomessa ja kansainvälisestikin tutkimustietoa on vähän. Aihe on kuitenkin tärkeä, sillä kaupungistuminen ja ilmastonmuutos lisäävät paineita kehittää hulevesien hallintaa kestävämmäksi. Kehitystyö vaatii konkreettisia esimerkkejä monikäyttöisistä hulevesien hallinnan alueista, niiden käyttökokemuksista ja toimivuudesta. Tässä työssä esitetyt hulevesien hallintarakenteet ja menetelmät ovat yksi esimerkki, kuinka monikäyttöisyys voidaan toteuttaa vastaavissa kohteissa niin Suomessa kuin kansainvälisestikin.

## Lähdeluettelo

- Adyel, T., Hipsey, M. & Oldham, C. 2017. Temporal dynamics of stormwater nutrient attenuation of an urban constructed wetland experiencing summer low flows and macrophyte senescence. *Ecological Engineering*, 102, 641-661. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.12.026.
- Ahern, J. 2007. Green infrastructure for cities : The spatial dimension. Konferenssijulkaisu. *Cities of the Future: Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management*. IWA Publishing.
- Alm, H., Banach, A. & Larm, T. 2010. *Förekomst och rening av prioriterade ämnen, metaller samt vissa övriga ämnen i dagvatten*. Svenskt Vatten Utveckling. Haettu 11. 02 2019 osoitteesta [www.vav.griffel.net/filer/Rapport\\_2010-06.pdf](http://www.vav.griffel.net/filer/Rapport_2010-06.pdf).
- Anttila, S. & Pyhälähti, T. 2018. Kokemuksia käyttäjälähtöisestä ympäristöpalvelujen kehittämisestä. *Vesitalous* (4/2018). s.51.
- Assmuth, E. 2017. *Performance of roadside filtration systems in the treatment of stormwater*. Diplomityö. Aalto-yliopisto. s.67.
- Backhaus, A. & Fryd, O. 2013. The aesthetic performance of urban landscapebased stormwater management systems: a review of twenty projects in Northern Europe. *Journal of Landscape Architecture*, 8(2), 52-63. DOI: 10.1080/18626033.2013.864130.
- Barbarosa, A., Fernandes, J. & David, L. 2012. Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research*, 46, 6787-6798. DOI: 10.1016/j.watres.2012.05.029.
- Borris, M., Perttu, A., Viklander, M. & Marsalek, J. 2013. Simulating future trends in urban stormwater quality or changing climate, urban land use and nvironmental controls. *Water Science & Technology*, 68(9), 2082-9. DOI: 10.2166/wst.2013.465.
- Braco, J., Wong, K., Stenstrom, M. K. & F. ASCE. (2008). Automatic Calibration of the U.S. EPA SWMM Model for a Large Urban Catchment. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(4), 466-474. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:4(466).
- Burns, M., Fletcher, T., Walsh, C., Ladson, A. & Hatt, B. 2012. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. *Landscape and Urban Planning*, 105(3), 230-240. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.12.012.
- Cameron, R. & Blanuša, T. 2016. Green infrastructure and ecosystem services – is the devil in the detail? *Annals of Botany*, 118(3), 377-91. DOI: 10.1093/aob/mcw129.
- Castro, M., Jara, A. J. & Skarmeta, A. F. 2013. Smart lighting solutions for smart cities. *International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, 1374-1379. DOI: 10.1109/WAINA.2013.254.
- Cheung, P., Schultz, N. & Prince, B. 2005. Case Studies Using RTC as a NMC and as a Stormwater BMP. Konferenssi julkaisu. World Water and Environmental Resources Congress, 1-11. DOI: 10.1061/40792(173)166.

COM(2013)249(FI). 2013. Vihreän infrastruktuuri (GI) – Euroopan luonnonpääoman parantaminen. *Komission tiedonanto euroopan parlamentille, neuvostolle, euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle*. Bryssel: Euroopan Komissio. Haettu 4. 7. 2018 osoitteesta [www.ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2013/FI/1-2013-249-FI-F1-1.Pdf](http://www.ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2013/FI/1-2013-249-FI-F1-1.Pdf).

Coutts, A., Trapper, N., Beringer, J., Loughnan, M. & Demuzere, M. 2013. Watering our cities: The capacity fro Water Sensitive Urban Design to support human thermal confort in the Australian context. *Progress in Physical Geography*, 37(1), 2-28. DOI: 10.1177/0309133312461032.

De Urbanisten. 2013. *Water Square Benthemplein*. Haettu 17. 1. 2019 osoitteesta [www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=waterplein-benthemplein](http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=waterplein-benthemplein).

De Urbanisten. 2010. *Water squares*. Haettu 17. 1. 2019 osoitteesta [www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=waterpleinen](http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=waterpleinen).

Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., . . . Faehnle, M. 2014. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 146, 107-115. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.07.025.

Danish Hydraulic Institute (DHI). 2016. *Mike-Urban*.

Dickson, D., Chadwick, C. & Arnold, C. 2011. National LID Atlas: A Collaborative Online Database of Innovative Stormwater Management Practices. *Marine Technology Society Journal*, 45(2), 59-64. DOI: 10.4031/MTSJ.45.2.7.

Doherty, J. 2005. PEST- Model-independent Parameter Estimation. 5. *painos*, 333. Watermark Numerical Computing.

Doherty, J. 2018. *Model-Independent Parameter Estimation User Manual Part I: PEST, SENSAN and Global Optimisers*. Watermark Numerical Computing. Haettu 17. 03 2019 osoitteesta [www.pesthomepage.org/Downloads.php](http://www.pesthomepage.org/Downloads.php).

Echols, S. & Pennypacker, E. 2008. From Stormwater Management to Artful Rainwater Design. *Landscape Journal*, 27(2), 268-290. DOI: 10.3368/lj.27.2.268.

Eckart, K., McPhee, Z., & Bolisetti, T. 2017. Performance and implementation of low impact development – A review. *Science of The Total Environment*, 607-608, 413-432. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.254.

Eklund, E. 2016. *Glykolivesien ohjausjärjestelmän järjestelmäkuvaus*. Insinööritoimisto Metropolia Ammattikorkeakoulu. s. 38.

ELY-keskus. 2018. *Reaaliaikaista tietoa jokien vedenlaadusta ja kuormituksesta VESIMITTARI-palvelussa (Varsinais-Suomi, Satakunta)*. Haettu 19. 11 2018 osoitteesta [www.ely-keskus.fi/web/ely/-/reaaliaikaista-tietoa-jokien-vedenlaadusta-ja-kuormituksesta-vesimittari-palvelussa-varsinais-suomi-satakunta-](http://www.ely-keskus.fi/web/ely/-/reaaliaikaista-tietoa-jokien-vedenlaadusta-ja-kuormituksesta-vesimittari-palvelussa-varsinais-suomi-satakunta-).



EPA. 2015. *Environmental Resilience: Exploring Scientific Concepts for Strengthening Community Resilience to Disasters*. United States Environmental Protection Agency. National Homeland Security Research Center, Office of Research and Development. United States Environmental Protection Agency. EPA 832-R-15-016.

EPA of Ireland. 2012. *Guidance on the setting of trigger values for storm water discharges to off-site surface waters at EPA IPPC and waste licensed facilities*. Haettu 7. 1. 2019 osoitteesta [www.epa.ie/pubs/advice/licensee/Licensee%20Guidance%20on%20the%20setting](http://www.epa.ie/pubs/advice/licensee/Licensee%20Guidance%20on%20the%20setting).

Eskola, M. 2010. *Kosteikot vesistökuormituksen pienentäjänä*. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. s. 55.

Espoon kaupunki. 2011. *Espoon hulevesiohjelma*. Haettu 3. 2 2019 osoitteesta [https://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen\\_ja\\_ymparisto/Ymparisto\\_ja\\_luonto/Ymparistovalvonta/Hulevedet](https://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen_ja_ymparisto/Ymparisto_ja_luonto/Ymparistovalvonta/Hulevedet).

Euroopan Komissio. 2012. *The Multifunctionality of Green Infrastructure*. Raportti. Haettu 16. 1. 2019 osoitteesta [www.ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/Green\\_Infrastructure.pdf](http://www.ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/Green_Infrastructure.pdf).

Euroopan ympäristökeskus. 2011. *Green infrastructure and territorial cohesion*. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. Haettu 17. 1 2019 osoitteesta [www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-territorial-cohesion](http://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-territorial-cohesion).

Finavia. 2017. *Vastuullisuusraportti*. Haettu 24.03.2014 osoitteesta [https://www.finavia.fi/sites/default/files/documents/Finavia\\_Vastuullisuusraportti\\_2017.pdf](https://www.finavia.fi/sites/default/files/documents/Finavia_Vastuullisuusraportti_2017.pdf).

Finavia. 2018. *Finavia käynnistää suurenluokan peruskorjauksen Helsinki-Vantaan lentoasemalla: lentoliikenteeseen lisää kapasiteettia ja päästöjä pienemmäksi*. Haettu 24.03.2019 osoitteesta [www.finavia.fi/fi/uutishuone/2018/finavia-kaynnistaa-suurenluokan-peruskorjauksen-helsinki-vantaan-lentoasemalla](http://www.finavia.fi/fi/uutishuone/2018/finavia-kaynnistaa-suurenluokan-peruskorjauksen-helsinki-vantaan-lentoasemalla).

Fletcher, T., Shuster, W., Hunt, W., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., . . . Viklander, M. 2015. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542. DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314.

Fratini, C. Geldof, G. Kluck, J. & Mikkelsen, P. 2012. Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal*, 317-331. DOI: 10.1080/1573062X.2012.668913.

GHB Landskabsarkitekter. 2014. *Taasinge Square*. Haettu 20. 03. 2019 osoitteesta [www.ghb-landskab.dk/en/projects/taasinge-square](http://www.ghb-landskab.dk/en/projects/taasinge-square).

Guan, M., Sillanpää, N. & Koivusalo, H. 2015a. Modelling and assessment of hydrological changes in a developing urban catchment. *Hydrological Processes*, 29(13), 2880-2894. DOI: 10.1002/hyp.10410.

Guan, M., Sillanpää, N. & Koivusalo, H. 2015b. Assessment of LID practices for restoring pre-development runoff regime in an urbanized catchment in southern Finland. *Water Science Technology*, 7(10), 1485-1491. DOI: 10.2166/wst.2015.129.

Guan, M., Sillanpää, N. & Koivusalo, H. 2016. Storm runoff response to rainfall pattern, magnitude and urbanization in a developing urban catchment. *Hydrological Processes*, 30(4), 543-557. DOI: 10.1002/hyp.10624.

Haaland, C. & Konijnendijk van den Bosch, C. 2015. Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14, 760-771. DOI: 10.1016/j.ufug.2015.07.009.

Hansen, R., Olafsson, A., van der Jag, A., Rall, E. & Pauleit, S. 2019. Planning multifunctional green infrastructure for compact cities: What is the state of practice? *Ecological Indicators*, 96(2), 99-110. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.09.042.

Hansen, R., Rall, E., Chapman, E., Rolf, W. & Pauleit, S. 2017. *Urban Green Infrastructure Planning: A guide for practioners*. Green Surge. Haettu 5. 11 2018 osoitteesta [www.greensurge.eu/working-packages/wp5/](http://www.greensurge.eu/working-packages/wp5/).

Harju, K. & Korhonen, P. 2018. Avoin ympäristötieto-ketkä sitä käyttävät ja millaista tietoa? *Vesitalous*, 4/2018. s. 51.

Hassal, C. & Anderson, S. 2015. Stormwater ponds can contain comparable biodiversity to unmanaged wetlands in urban areas. *Hydrobiologia*, 745(1), 137-149. DOI: 10.1007/s10750-014-2100-5.

Helsingin kaupunki. 2017. *Esitys kaupunginhallitukselle Munkinpuiston puistosuunnitelman hyväksymiseksi*. Haettu 15. 01. 2019 osoitteesta [www.dev.hel.fi/paatokset/asia/hel-2017-001730/ytlk-2017-8/](http://www.dev.hel.fi/paatokset/asia/hel-2017-001730/ytlk-2017-8/).

Hirsch, R., Dennis, R., Cohn, T. & Gilroy, E. 1992. Statistical Analysis of Hydrologic Data. Teoksessa *Maidment, D. R. Handbook of Hydrology* (ss. 1-55). McGraw-Hill.

Holt, E., Koivusalo, H., Korkealaakso, J., Sillanpää, N. & Wendling, L. 2018. *Filtration Systems for Stormwater Quality and Quality Management - Guideline for Finnish Implementation*. VTT Technology. ISSN: X221-2422 (verkossa).

Holtmann, L., Juchem, M., Brüggeshemke, J., Möhlmeier, A. & Fartman, T. 2018. Stormwater ponds promote dragonfly (Odonata) species richness and density in urban areas. *Ecological Engineering*, 1-11. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.12.028.

Ilmatieteenlaitos. 2018. *Kuukausitilastot-2018 sää ja tilastot*. Haettu 24.03.2019 osoitteesta [www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot).

Ilmatieteenlaitos. 2019. *Havaintojen lataus*. Haettu 05.04.2019 osoitteesta [www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/).

Järveläinen, J. 2014. *Land-use based stormwater pollutant load estimation and monitoring system design: Case of Lahti city, Finland*. Diplomityö. Aalto-yliopisto. s. 88.

Järveläinen, J., Sillanpää, N. & Koivusalo, H. 2017. Land-use based stormwater pollutant load estimation and monitoring system design. *Urban Water Journal*, 14(3), 223-236. DOI: 10.1080/1573062X.2015.1086005.

Kaczala, F., Marques, M., Vinrot, E. & Hogland, W. 2012. Stormwater run-off from an industrial log yard: characterization, contaminant correlation and first-flush phenomenon. *Environmental technology*, 33(14), 1615-1628. DOI: 10.1080/09593330.2011.641035.

Kahiluoto, J., Hirvonen, J. & Sarkkinen, M. 2018. Tehokas työkalu ympäristömittausten hallintaan. *Vesitalous*, (4/2018). s. 51.

Keeley, M., Koburger, A., Dolowitz, D., Medearis, D., Nickel, D., & Shuster, W. 2013. Perspectives on the use of green infrastructure for stormwater management in Cleveland and Milwaukee. *Environmental Manage*, 51(6), 1093-108. DOI: 10.1007/s00267-013-0032-x.

Krebs, G., Kokkonen, T., Setälä, H. & Koivusalo, H. 2016. Parameterization of a hydrological model for a large, ungauged urban catchment. *Water*, 8(10), 443. DOI: 10.3390/w8100443.

Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Koivusalo, H. & Setälä, H. 2013. A high resolution application of a stormwater management model (SWMM) using genetic parameter optimization. *Urban Water Journal*, 10(6), 394-410. DOI: 10.1080/1573062X.2012.739631.

Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Setälä, H. & Koivusalo, H. 2014. Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 512, 482-497. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.013.

Kuusisto-Hjort, P. 2009. *Controls on trace metals in urban stream sediments – implications for pollution monitoring using sediment chemistry data*. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. ISBN: 978-952-10-5834-9 (PDF).

LabkoNet. 2018. Tiedot haettu 12.11.2018 osoitteesta [app.labkonet.com](http://app.labkonet.com).

Labkotec. 2018. *Vantaan Manttaali- ja Rälssipuiston jatkuvatoimiset veden laadun ja virtaaman mittaukset*. Mittausraportti.

Lahden kaupunki. 2010. *Hulevesiohjelma*. Haettu 3. 2 2019 osoitteesta [www.lahti.fi/PalvelutSite/YmparistoSite/Documents/Hulevesiohjelma\\_2012.pdf](http://www.lahti.fi/PalvelutSite/YmparistoSite/Documents/Hulevesiohjelma_2012.pdf).

Laitinen, S. 2017. *Puistotorin vihersuunnitelma – oleskelu- ja leikkipuisto hulevesien hallinta-alueena*. Opinnäytetyö. Hämeen Ammattikorkeakoulu. s. 103.

Landscape Institute. 2013. *Green Infrastructure: An integrated approach to land use*. Landscape Institute Position Statement. Haettu 17. 1 2019 osoitteesta [www.landscapeinstitute.org/wp-content/uploads/2016/03/GreenInfrastructureLIPositionStatement2013.pdf](http://www.landscapeinstitute.org/wp-content/uploads/2016/03/GreenInfrastructureLIPositionStatement2013.pdf).

Lefkowitz, J., Sarmanian, A. & Quigley, M. 2016. Continuous monitoring and adaptive control - the internet of things transforms stormwater management. *Journal of the New England Water Environment Association*, 50(1), 44-51. ISSN: 1077-3002.

Lennon, M., Scott, M. & O'Neill, E. 2014. Urban design and adapting to flood risk: the role of green infrastructure. *Journal of Urban Design*, 19(5), 745-758. DOI: 10.1080/13574809.2014.944113.

Lovell, S. & Johnston, D. 2009. Creating multifunctional landscapes: how can the field of ecology inform the design of the landscape? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 212-220. DOI: 10.1890/070178.

Lovell, S., & Taylor, J. 2013. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology*, 28, 1447-1463. DOI: 10.1007/s10980-013-9912-y.

Mackintosh, T., Davis, J., & Thomson, R. 2015. The influence of urbanisation on macroinvertebrate biodiversity in constructed stormwater wetlands. *Science of the Total Environment*, 536, 527-537. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.066.

Madureira, H., & Andresen, T. 2014. Planning for multifunctional urban green infrastructures: Promises and challenges. *Urban design International*, 19(1), 38-49. DOI: 10.1057/udi.2013.11.

Meerow, S. & Newell, J. 2017. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 159, 62-75. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2016.10.005.

Mesimäki, M., Nieminen, H. & Lehävirta, S. 2015. Uudenlaisen vihreän infrastruktuurin toteutumisen reunaehdot rakentamisen prosesseissa – tapauksena viherkatot. *Yhdyskuntasuunnittelulehti*, 3. Haettu 19.1.2019 osoitteesta [www.yss.fi/journal/uudenlaisen-vihrean-infrastruktuurin-toteutumisen-reunaehdot-rakentamisen-prosesseissa-tapauksena-viherkatot/](http://www.yss.fi/journal/uudenlaisen-vihrean-infrastruktuurin-toteutumisen-reunaehdot-rakentamisen-prosesseissa-tapauksena-viherkatot/).

Mitchell, V., Deletic, A., Fletcher, T. H. & McCarthy, D. 2007. Achieving multiple benefits from stormwater harvesting. *Water Science & Technology*, 55(4), 135-144. DOI: 10.2166/wst.2007.103.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Binger, R. L., Harmel, R. D. & Vieth, T. L. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900. ISSN: 0001-2351.

Muschalla, D., Vallet, B., Ancil, F., Lessard, P., Pelletier, G. & Vanrolleghem, P. A. 2014. Ecohydraulic-driven real-time control of stormwater basins. *Journal of hydrology*, 511, 82-91. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.01.002.

Nash, J., & Sutcliffe, J. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290. DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.

National Recreation and Park Association. 2017. Resource guide for planning, designing and implementing. Haettu 20. 03. 2019 osoitteesta [www.nrpa.org/contentassets/0e196db99af544bbba4f63f480c1316b/gupc-resource-guide.pdf](http://www.nrpa.org/contentassets/0e196db99af544bbba4f63f480c1316b/gupc-resource-guide.pdf).

Nicholas, P., Lucke, T., Drapper, D. & Walker, C. 2016. Performance Evaluation of a Floating Treatment Wetland in an Urban Catchment. *Water*, 8(244). DOI: 10.3390/w8060244.

Niemi, T., Kokkonen, T., Sillanpää, N., Setälä, H. & Koivusalo, H. 2018. Automated urban rainfall-runoff model generation with detailed land cover and flow routing. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(5). DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001784.

Niemi, T., Warsta, L., Taka, M., Hickman, B., Pulkkinen, S., Krebs, G., . . . Kokkonen, T. 2017. Applicability of open rainfall data to event-scale urban rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 547, 143-155. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.01.056.

Ollikainen, E. 2015. *Hulevesien aiheuttamat ympäristöriskit kaupunkivesistöihin-Case Kuninkoja*. Turun Ammattikorkeakoulu. s. 59.

Page, D., Gonzalez, D., Naumann, B., Dillon, P., Vanderzalm, J. & Barry, K. 2013. *Stormwater Managed Aquifer Recharge Risk-Based Management Plan, Parafield Stormwater Harvesting System, Stormwater supply to the Mawson Lakes Recycled Water Scheme, Industrial Uses and Public Open Space Irrigation*. Tekninen raportti. Australia: Goyder Institute for Water Research.

Paule-Mercado, M. C., Salim, I., Lee, B. Y., Memon, S., Sajjad, R. U., Sukhbaatar, C. & Lee, C. H. 2018. Monitoring and quantification of stormwater runoff from mixed land use and land cover catchment in response to land development. *Ecological Indicators*, 93, 112-1125. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.06.006.

Pauliet, S., Liu, L., Ahern, J. & Kazmierczak, A. 2011. Multifunctional Green Infrastructure Planning to Promote Ecological Services in the City. *Urban Ecology: Patterns, Processes, and Applications*, 272-285. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199563562.003.0033.

Raudaskoski, O. 2016. Hulevesien hallintavaihtoehtojen mallinnus tiiviissä taajamassa. Diplomityö. Aalto-yliopisto. s. 78.

Ritter, A., & Muñoz-Carpena, R. 2013. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480, 33-45. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.12.004.

Roman, D., Braga, A., Shetty, N. & Culligan, P. 2017. Design and Modeling of an Adaptively Controlled Rainwater Harvesting System. *Water*, 9(12), 974. DOI: 10.3390/w9120974.

Rossmann, L. 2010. *Storm Water Management Model User's Manual - Version 5.1*. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-05/040.

Ruotsin ympäristönsuojeluvirasto. 2000. *Environmental Quality Criteria, Lakes and Watercourses*. ISBN: 91-620-5050-8.

Schuch, G. Serrao-Neumann, S. Morgan, E. & Choy, D. 2017. Water in the city: Green open spaces, land use planning and flood management—An Australian case study. *Land Use Policy*, 63, 539-550. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.01.042.

Sillanpää, N. 2013. *Effects of suburban development on runoff generation and water quality*. Väitöskirja. Aalto-yliopisto. ISBN: 978-952-60-374-5 (pdf).

Sillanpää, N. & Koivusalo, H. 2015. Impacts of urban development on runoff event characteristics and unit hydrographs across warm and cold seasons in high latitudes. *Journal of Hydrology*, 521, 328-340. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.12.008.

Sitowise Oy. 2019a. *Rälssi- ja Manttaalipuisto - Julkisten ulkotilojen yleissuunnitelma*. Vantaan kaupunki.

Sitowise Oy. 2019b. *Sitowisen aineistot: Maankäyttö*.

Suomen kuntaliitto. 2012. *Hulevesiopus*. Helsinki. Haettu 17. 01. 2019 osoitteesta [shop.kuntaliitto.fi/download.php?filename=uploads/hulevesiopus-2012.pdf](http://shop.kuntaliitto.fi/download.php?filename=uploads/hulevesiopus-2012.pdf).

Suomen ympäristökeskus. 2018a. *Avoin tieto*. Haettu 24.03.2019 osoitteesta [www.syke.fi/avointieto](http://www.syke.fi/avointieto).

Suomen ympäristökeskus. 2018b. *Kansalaishavainnot*. Haettu 23. 03. 2019 osoitteesta [www.ymparisto.fi/kansalaishavainnot](http://www.ymparisto.fi/kansalaishavainnot).

Suomen ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos & Tulvakeskus. 2019. *vesi.fi*. Haettu 23. 03. 2019 osoitteesta <https://www.vesi.fi/>.

Thornton, S. 2017. *How a Smart City Tackles Rainfall*. Data-Smart City Solutions. Haettu 21. 11. 2018 osoitteesta: [www.datasmart.ash.harvard.edu/news/article/how-a-smart-city-tackles-rainfall-956](http://www.datasmart.ash.harvard.edu/news/article/how-a-smart-city-tackles-rainfall-956).

Tikkanen, H. 2013. *Hydrological modeling of a large urban catchment using a stormwater management model (SWMM)*. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka. s. 64.

Tuominen, H. 2015. *Vantaan kaupungin purojen luokittelu valuma-alueiden vettä läpäisemättömän pinnan perusteella*. Diplomityö, Aalto-yliopisto. s. 93.

U.S. Army of Corps of Engineers. 2016. *HEC-RAS River Analysis System -Hydraulic Reference Manual*. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.

Valkama, P., Laakso, S., Kivimäki, A.-L. & Lahti, K. 2013. *Selvitys eräiden Vantaan purojen automaattisista vedenlaadun seurannoista 2011-2012*. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. ISBN: 978-952-7019-03-0.



Valtanen, M. 2015. *Effects of urbanization on seasonal runoff generation and pollutant transport under cold climate*. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. ISBN: 978-951-51-0862-3 (PDF).

Valtanen, M., Sillanpää, N. & Setälä, H. 2010. *Hulevesien imeyttäminen ja suodattaminen: haitta-aineet ja menetelmät*. Ympäristötieteiden laitos. Helsingin yliopisto. Kirjallisuusselvitys. s. 47.

Van Leeuwen, E., Nijkamp, P. & de Noronha Vaz, T. 2010. The multifunctional use of urban greenspace. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(1-2), 20-25. DOI: 10.3763/ijas.2009.0466.

Vantaan kaupunki. 2009a. *Hulevesiohjelma*. Kuntatekniikan keskus. Haettu 3. 2. 2019 osoitteesta [www.vantaa.fi/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/vantaa/embeds/vantaawwwstructure/124676\\_Hulevesiohjelma\\_nettiin.pdf](http://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaawwwstructure/124676_Hulevesiohjelma_nettiin.pdf).

Vantaan kaupunki. 2009b. *Vantaan pienvesiselvitys*. Kuntatekniikan keskus. ISBN: 952-443-283-8.

Vantaan kaupunki. 2018a. *052500 AUB-alue (Aviapolis Urban Blocks), Veromies*. Asemakaavan muutosluonnoksen selostus. Haettu 07.04.2019 osoitteesta [www.vantaa.fi/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/vantaa/embeds/vantaawwwstructure/142068\\_kaupsu\\_052500\\_selostus\\_05112018.pdf](http://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaawwwstructure/142068_kaupsu_052500_selostus_05112018.pdf).

Vantaan kaupunki. 2018b. Kaavarunkomateriaali.

Veromiehen verkot-työryhmä. 2018. *Aviapolis*. Vantaan kaupunki. Haettu 29. 8. 2018 osoitteesta [www.vantaa.fi/uutisia/ajankohtaiset\\_kaavat/101/0/138392](http://www.vantaa.fi/uutisia/ajankohtaiset_kaavat/101/0/138392).

Vierikko, K., & Niemelä, J. 2016. Bottom-up thinking—Identifying socio-cultural values of ecosystem services in local blue-green infrastructure planning in Helsinki, Finland. *Land Use Policy*, 50, 537-547. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.09.031.

Waldhoff, A., Ziegler, J., Bischoff, G. & Rabe, S. 2012. Multifunctional Spaces for Flood Management – an Approach for the City of Hamburg, Germany. *GWF Wasser Abwasser*, 153(1), 84.

Woods-Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R. & Kellagher, R. 2015. *The SuDS Manual*. Lontoo: CIRIA. Haettu 24.03.2019 osoitteesta <http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf>.

Wright, J., & Marchese, D. 2018. Briefing: Continuous monitoring and adaptive control: the ‘smart’ storm water management solution. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Smart Infrastructure and Construction*, 170(4), 86-89. DOI: 10.1680/jsmic.17.00017.

# Liite 1. Spearmannin korrelaatioanalyysin tulokset

		TSS	EC	pH	PO4	NOx	TP	TN	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Fe	Zn	V	As	Pb	TOC	Sameus	Virtaama
TSS	Korrelaatiokerroin	1.00	0.67	-.786*	0.52	0.24	.952**	0.45	0.19	-0.24	-0.61	0.26	-.714*	-.786*	-.755*	.903**	-.714*	-.719*	0.34	-0.14	.900*	0.63
	Merkitsevyystaso		0.07	0.02	0.18	0.57	0.00	0.26	0.65	0.57	0.11	0.53	0.05	0.02	0.03	0.00	0.05	0.04	0.41	0.74	0.04	0.09
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
EC	Korrelaatiokerroin	0.67	1.00	-0.46	0.63	0.60	0.45	0.57	0.48	-0.34	-0.60	0.19	-.762*	-0.60	-0.59	.708*	-.881*	-0.56	-0.02	-0.45	0.00	0.16
	Merkitsevyystaso		0.07		0.26	0.10	0.12	0.26	0.14	0.23	0.42	0.12	0.65	0.03	0.12	0.13	0.05	0.00	0.15	0.97	0.26	1.00
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
pH	Korrelaatiokerroin	-.786*	-0.46	1.00	-0.15	0.14	-.761*	-0.04	-0.41	0.52	0.44	-0.05	.710*	.812*	.893**	-.858*	0.63	.772*	-0.53	0.13	-0.71	-0.65
	Merkitsevyystaso		0.02	0.26		0.72	0.74	0.03	0.93	0.32	0.19	0.28	0.91	0.05	0.01	0.00	0.01	0.09	0.02	0.18	0.76	0.18
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
PO4	Korrelaatiokerroin	0.52	0.63	-0.15	1.00	0.63	0.38	0.63	0.28	0.01	-0.31	0.24	-0.47	-0.19	-0.15	0.31	-0.33	-0.11	-0.29	0.17	0.41	-0.24
	Merkitsevyystaso		0.18	0.10	0.72		0.10	0.35	0.10	0.50	0.99	0.45	0.56	0.24	0.65	0.72	0.45	0.42	0.80	0.48	0.69	0.49
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
NOx	Korrelaatiokerroin	0.24	0.60	0.14	0.63	1.00	0.05	.929**	0.50	0.51	-0.48	0.48	-0.12	0.12	0.12	0.29	-0.52	0.25	-.764*	0.17	0.40	-0.38
	Merkitsevyystaso		0.57	0.12	0.74	0.10		0.91	0.00	0.21	0.19	0.23	0.23	0.78	0.78	0.78	0.48	0.18	0.55	0.03	0.69	0.50
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
TP	Korrelaatiokerroin	.952**	0.45	-.761*	0.38	0.05	1.00	0.29	0.05	-0.19	-0.44	0.29	-0.52	-0.69	-0.65	.830*	-0.52	-0.66	0.48	-0.10	0.70	.719*
	Merkitsevyystaso		0.00	0.26	0.03	0.35	0.91		0.49	0.91	0.65	0.27	0.49	0.18	0.06	0.08	0.01	0.18	0.08	0.23	0.82	0.19
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
TN	Korrelaatiokerroin	0.45	0.57	-0.04	0.63	.929**	0.29	1.00	0.36	0.53	-0.54	0.60	-0.24	-0.05	-0.05	0.44	-0.57	0.12	-0.65	0.29	0.70	-0.10
	Merkitsevyystaso		0.26	0.14	0.93	0.10	0.00	0.49		0.39	0.18	0.17	0.12	0.57	0.91	0.91	0.28	0.14	0.78	0.08	0.49	0.19
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
Cd	Korrelaatiokerroin	0.19	0.48	-0.41	0.28	0.50	0.05	0.36	1.00	0.01	-0.40	0.14	-0.24	-0.10	-0.24	0.49	-0.57	-0.01	-0.34	0.10	0.60	-0.31
	Merkitsevyystaso		0.65	0.23	0.32	0.50	0.21	0.91	0.39		0.98	0.33	0.74	0.57	0.82	0.57	0.22	0.14	0.98	0.41	0.82	0.28
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
Co	Korrelaatiokerroin	-0.24	-0.34	0.52	0.01	0.51	-0.19	0.53	0.01	1.00	-0.02	0.46	0.66	0.65	0.66	-0.22	0.22	.765*	-.737*	0.61	0.60	-0.36
	Merkitsevyystaso		0.57	0.42	0.19	0.99	0.19	0.65	0.18	0.98		0.95	0.26	0.08	0.08	0.07	0.60	0.61	0.03	0.04	0.11	0.28
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
Cr	Korrelaatiokerroin	-0.61	-0.60	0.44	-0.31	-0.48	-0.44	-0.54	-0.40	-0.02	1.00	0.19	0.55	0.65	0.59	-0.69	.778*	0.50	0.09	0.23	-0.87	-0.19
	Merkitsevyystaso		0.11	0.12	0.28	0.45	0.23	0.27	0.17	0.33	0.95		0.65	0.16	0.08	0.12	0.06	0.02	0.21	0.84	0.59	0.05
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
Cu	Korrelaatiokerroin	0.26	0.19	-0.05	0.24	0.48	0.29	0.60	0.14	0.46	0.19	1.00	0.12	0.26	0.18	0.27	-0.19	0.30	-0.34	0.40	0.30	0.16
	Merkitsevyystaso		0.53	0.65	0.91	0.56	0.23	0.49	0.12	0.74	0.26	0.65		0.78	0.53	0.67	0.52	0.65	0.47	0.41	0.32	0.62
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
Mn	Korrelaatiokerroin	-.714*	-.762*	.710*	-0.47	-0.12	-0.52	-0.24	-0.24	0.66	0.55	0.12	1.00	.881**	.898**	-0.66	.714*	.826*	-0.31	0.33	-0.10	-0.42
	Merkitsevyystaso		0.05	0.03	0.05	0.24	0.78	0.18	0.57	0.57	0.08	0.16	0.78		0.00	0.00	0.08	0.05	0.01	0.45	0.42	0.87
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
Ni	Korrelaatiokerroin	-.786*	-0.60	.812*	-0.19	0.12	-0.69	-0.05	-0.10	0.65	0.65	0.26	.881**	1.00	.970**	-.756*	0.69	.970**	-0.59	0.48	-0.30	-0.68
	Merkitsevyystaso		0.02	0.12	0.01	0.65	0.78	0.06	0.91	0.82	0.08	0.08	0.53	0.00		0.00	0.03	0.06	0.00	0.12	0.23	0.62
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
Fe	Korrelaatiokerroin	-.755*	-0.59	.893**	-0.15	0.12	-0.65	-0.05	-0.24	0.66	0.59	0.18	.898**	.970**	1.00	-.785*	.719*	.928**	-0.54	0.37	-0.36	-0.66
	Merkitsevyystaso		0.03	0.13	0.00	0.72	0.78	0.08	0.91	0.57	0.07	0.12	0.67	0.00	0.00		0.02	0.04	0.00	0.17	0.37	0.55
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
Zn	Korrelaatiokerroin	.903**	.708*	-.858*	0.31	0.29	.830*	0.44	0.49	-0.22	-0.69	0.27	-0.66	-.756*	-.785*	1.00	-.878*	-0.69	0.27	-0.22	.900*	0.59
	Merkitsevyystaso		0.00	0.05	0.01	0.45	0.48	0.01	0.28	0.22	0.60	0.06	0.52	0.08	0.03	0.02		0.00	0.06	0.52	0.60	0.04
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
V	Korrelaatiokerroin	-.714*	-.881*	0.63	-0.33	-0.52	-0.52	-0.57	-0.57	0.22	.778*	-0.19	.714*	0.69	.719*	-.878*	1.00	0.61	-0.02	0.38	-0.50	-0.36
	Merkitsevyystaso		0.05	0.00	0.09	0.42	0.18	0.18	0.14	0.61	0.02	0.65	0.05	0.06	0.04	0.00		0.11	0.97	0.35	0.39	0.38
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
As	Korrelaatiokerroin	-.719*	-0.56	.772*	-0.11	0.25	-0.66	0.12	-0.01	.765*	0.50	0.30	.826*	.970**	.928**	-0.69	0.61	1.00	-.737*	0.62	0.10	-.711*
	Merkitsevyystaso		0.04	0.15	0.02	0.80	0.55	0.08	0.78	0.98	0.03	0.21	0.47	0.01	0.00	0.00	0.06	0.11		0.04	0.10	0.87
	N	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	8.00
Pb	Korrelaatiokerroin	0.34	-0.02	-0.53	-0.29	-.764																